ผลของกรดอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของปลาไน (*Cyprinus carpio*)

Effect of Organic Acids on Growth and Phosphorus Utilization in Common Carp (*Cyprinus carpio*)

ทนงศักดิ์ จงศิริ

Thanongsak Chongsiri

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
2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของกรดอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของปลาไน (*Cyprinus carpio*)

ผู้เขียน นายทนงศักดิ์ จงศิริ

สาขาวิชา วาริชศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิพร พรหมขุนทอง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....

(ดร.สุภฎา คีรีรัฐนิคม)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา ตันติกิตติ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิพร พรหมขุนทอง)

.....กรรมการ

(ดร.สุภฎา คีรีรัฐนิคม)

.....กรรมการ

(ดร.จำเริญศรี ถาวรสุวรรณ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์

.....

(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของกรดอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของปลาไน (*Cyprinus carpio*)

ผู้เขียน นายทนงศักดิ์ จงศิริ

สาขาวิชา วาริชศาสตร์

ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

การศึกษานี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาชนิดของกรดอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของปลาไน (*Cyprinus carpio*) การทดลองที่ 2 ศึกษาสัดส่วนของโมโนโซเดียมฟอสเฟตและกรดซิตริกเพื่อลดระดับการใช้อนินทรีย์ฟอสเฟตในอาหาร โดยทดลองเลี้ยงปลาไนเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ การทดลองที่ 1 ใช้ปลาน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 4.8 กรัมต่อตัว ทดลองเลี้ยงในตู้กระจกที่มีน้ำ 121 ลิตร โดยสูตรอาหารทดลองมีทั้งหมด 6 สูตร คือ สูตรที่ 1 : โมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) 1.5 %, สูตรที่ 2 : สูตรพื้นฐาน, สูตรที่ 3 : กรดซิตริก 1 %, สูตรที่ 4 : กรดฟอร์มิก 1 %, สูตรที่ 5 : กรดแลกติก 1 % และสูตรที่ 6 : กรดทาร์ทาริก 1 % จากการทดลอง พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริม MSP 1.5 % มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (WG) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) และการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสดีที่สุดเมื่อเทียบกับอาหารทดลองสูตรอื่น ๆ นอกจากนี้ พบว่า การเสริมกรดอินทรีย์ 1 % ในอาหารทำให้ปลามีประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะปลาที่ได้รับกรดซิตริก พบว่าฟอสฟอรัสในมูล ฟอสฟอรัสและเถ้าในตัวปลามีค่าดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญ และปลาที่ได้รับอาหารเสริมกรดซิตริกมีแนวโน้มสามารถนำฟอสฟอรัสในอาหารไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่าปลาที่ได้รับกรดแลกติก กรดฟอร์มิก และกรดทาทาร์ทาริก

การทดลองที่ 2 ใช้ปลาน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 2.7 กรัมต่อตัว ทดลองในตู้กระจกที่มีความจุน้ำ 80 ลิตร ซึ่งทำการศึกษาอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ MSP และกรดซิตริก โดยกำหนดให้มีความเข้มข้นของ MSP 3 ระดับ คือ 0.37, 0.75 และ 1.5 % และความเข้มข้นของกรดซิตริก 3 ระดับ คือ 0, 0.1 และ 0.25 % พบว่า ระดับ MSP และระดับกรดซิตริกมีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณเถ้าและฟอสฟอรัสในกระดูก การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง และระดับพีเอชในระบบทางเดินอาหาร การเสริมกรดซิตริกมีแนวโน้มส่งผลดีต่อการเจริญเติบโต (WG และ

SGR) และการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัส (เถ้าและฟอสฟอรัสในกระดูก การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย) ของปลาไน เช่น ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริม MSP 1.5 % ร่วมกับการเสริมกรดซิตริก 0.1 % และ 0.25 % พบว่า ส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโต (WG และ SGR) FCR และการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสมีแนวโน้มดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริม MSP 1.5 % แต่ไม่เสริมกรดซิตริก ส่วนการลดระดับ MSP จาก 1.5 % เป็น 0.75 % และ 0.37 % ทำให้ปลาได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต แต่เมื่อเสริมกรดซิตริกในอาหาร 0.1 และ 0.25 % พบว่า ทำให้ปลานำฟอสฟอรัสในอาหารไปใช้ได้มากขึ้น โดยเฉพาะปลาที่ได้รับอาหาร MSP 0.75 % ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปลามีการเจริญเติบโต (WG และ SGR), FCR และการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมกรดซิตริก แต่ยังมีแนวโน้มที่การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหาร MSP 1.5 % และไม่เสริมกรดซิตริกถึงแม้จะไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยปลายังแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสให้เห็น ส่วนระดับพีเอชในระบบทางเดินอาหาร พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.1 % มีค่าพีเอชต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0 และ 0.25 %

Thesis Title	Effect of organic acids on growth and phosphorus utilization in common carp (*Cyprinus carpio*).
Author	Mr. Thanongsak Chongsiri
Major Program	Aquatic Science
Academic	2011

Abstract

This study was composed of two experiments, investigating the effect of dietary organic acids on growth performance and phosphorus utilization, and the interaction between levels of monosodium phosphate (MSP) and citric acid on reducing inorganic phosphate in the diet of commom carp (*Cyprinus carpio*). This study was carried out over eight weeks. For the first experiment, commom carp of initial weight 4.8 g were placed in 121 L water-filled glass tanks. Six dietary treatments were applied: (1) 1.5 % monosodium phosphate (MSP), (2) basal diet, (3) 1 % citric acid, (4) 1 % formic acid, (5) 1 % lactic acid and (6) 1 % tartaric acid, respectively. The results showed that the supplementary 1.5 % MSP diet significantly improved weight gain (WG), specific growth rate (SGR), feed conversion rate (FCR) and phosphorus utilization compared to the other five treatments. Apparent digestibility coefficient of phosphorus increased significantly in fish fed on 1% organic acid diets when compared with fish fed on the basal diet. Espeacially fish fed on a citric acid showed significantly improve faecal phosphorus, whole-body phosphorus and bone phosphorus when compared with basal diet. Fish feeding on a diet containing citric acid tended to improve phosphorus utilization in contrast to those fed on diets containing lactic acid, formic acid or tartaric acid.

In the second experiment, commom carp of initial weight 2.7 g were placed in 80 L water-filled glass tanks. The study was assigned to investigate the interaction between levels of MSP (0.37 %, 0.75 % and 1.5 %) and citric acid (0 %, 0.1 % and 0.25 %). The results revealed that the interactive of MSP and citric acid in diets had affected

to bone ash, bone phosphorus, phosphorus retention efficiency, phosphorus load and pH of intestinal digesta. The addition of citric acid in the diets tended to improve growth performances (WG and SGR) and phosphorus utilization (bone phosphorus, ash phosphorus and phosphorus retention efficiency). Fish fed on a diet of 1.5 % MSP supplemented with 0.1 % and 0.25 % citric acids tended to improve growth performance (WG and SGR), FCR and phosphorus utilization which was better than fish fed on 1.5 % MSP and without citric acid supplementation. The reduction of 1.5 % MSP to 0.75 % MSP and 0.37 % MSP resulted to insufficient available phosphorus for fish, however, the improvement of phosphorus utilization can be increased by addition of 0.1 % and 0.25 % citric acid in the diets. Especially fish fed on a diet of 0.75 % MSP supplemented with 0.1 % citric acid showed that growth performance (WG, SGR), FCR and phosphorus utilization higher than fish fed on diet without citric acid supplementation, however, fish from this treatment tend to have growth performance and phosphorus utilization lower than in fish fed on 1.5% MSP, and showed phosphorus insufficiency. Moreover, the pH of intestinal digesta in fish fed on diet of 1.5 % MSP supplemented with 0.1% citric acid was lower than those of fish fish fed on diet of 1.5 % MSP supplemented with 0%, and 0.25% citric acid.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิพร พรหมขุนทอง ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสข้าพเจ้าได้ทำงานวิจัยเรื่องนี้ ช่วยให้มุมมองการทำวิจัย การแก้ปัญหา การวางแผนการทดลอง สิ่งที่พึงระวังสำหรับการทำวิจัย ขอขอบคุณที่กรุณาช่วยเหลือ แนะนำ ตรวจทานแก้ไข ให้ข้อเสนอแนะ ติดตามความก้าวหน้าในการทำวิทยานิพนธ์จนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณดร.สุภฎา คีรีรัฐนิคม กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้และกรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ จนกระทั่งการทำงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา ตันติกิตติ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และดร.จำเริญศรี ถาวรสุวรรณ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขตรวจทานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาระ บำรุงศรี ที่ช่วยให้คำแนะนำ เป็นกำลังใจ และเป็นต้นแบบของการทำงาน และขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วชิระ เหล็กนิ่ม ที่ให้คำแนะนำปรึกษาเรื่องสถิติของงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ทุกท่านที่ให้ความกรุณา ตลอดระยะเวลาที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ที่นี่

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์วิจัยสุขภาพสัตว์น้ำ กิจการศุภมาตย์ ได้แก่ ดร.นเรศ ซ่วนยุก ดร.สุณีย์ หวันเหล็ม ดร.กิตติชนม์ อุเทนะพันธุ์ คุณบุญกอบ วิริยพงศ์สุธี คุณสุพัตรา อรุณรัตน์ คุณจิรวัฒน์ ทัดแก้ว คุณอัครวิทย์ อิสสะโร คุณสุนันท์ ช่วยป้อง และคุณเชาว์ สุวรรณรัตน์ ที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทาง ความห่วงใย และให้ความช่วยเหลืองานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวาริชศาสตร์ คุณดุสิต นาคะชาต คุณนพรัตน์ แท่นมาก คุณนิธิรัช รัตนเสถียร และคุณจบ ห่อทอง ตลอดจนเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาวาริชศาสตร์ คุณรัตนา โพชะเรือง คุณอาภรณ์ ศรีผ่อง คุณนิศมา สุวรรโณ และคุณมาลี เจตวิจิตร ที่อำนวยความสะดวกในระหว่างการทำวิจัยจนเสร็จสิ้นไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณบริษัทโกลด์คอยน์ สเปเชียลลิตี้ (ประเทศไทย) จำกัด ที่อนุเคราะห์วัตถุดิบที่ใช้สำหรับการทดลองที่ 2

ขอขอบคุณบริษัทโรวิทัย ที่อนุเคราะห์วิตามินและแร่ธาตุ ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

ขอบขอบคุณพี่ ๆ และเพื่อน ๆ นักศึกษาปริญญาเอกและปริญญาโท ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุกท่าน ทั้งที่สำเร็จการศึกษาไปแล้วและที่ยังศึกษาอยู่ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมา ตลอดจนให้คำปรึกษาและแนะนำในทุก ๆ เรื่อง ทั้งเรื่องงานและเรื่องส่วนตัว

ขอบขอบคุณพี่ ๆ และน้อง ๆ นักศึกษาปริญญาเอกและปริญญาโท หน่วยวิจัยภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมา และให้คำปรึกษาทั้งเรื่องงานและเรื่องส่วนตัว

สุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องของข้าพเจ้าที่ให้กำลังใจกำลังทรัพย์ ในการศึกษาและการทำวิจัยในครั้งนี้

ทนงศักดิ์ จงศิริ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(9)
รายการตาราง	(12)
รายการรูปประกอบ	(15)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 ตรวจเอกสาร	3
1.2.1 ความสำคัญของกรดอินทรีย์	3
1.2.2 คุณสมบัติทางเคมีของกรดอินทรีย์	5
1.2.3 กรดอินทรีย์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แร่ธาตุ	8
1.2.4 กรดอินทรีย์ต่อการทดแทนปลาป่นด้วยวัตถุดิบจากพืช	11
1.2.5 ความสำคัญของฟอสฟอรัส	12
1.2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	20
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา	21
2.1 วัสดุ	21
2.1.1 ปลาทดลอง	21
2.1.2 สารเคมี	21
2.1.3 อาหารสำหรับอนุบาลลูกปลาก่อนเริ่มการทดลอง	22
2.2 อุปกรณ์	22
2.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเลี้ยงปลาทดลอง	22
2.2.2 อุปกรณ์เตรียมอาหารทดลอง	22
2.2.3 อุปกรณ์วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองและตัวปลา	23
2.2.4 อุปกรณ์วิเคราะห์โครมิคออกไซด์ในอาหารและในมูลปลาทดลอง	23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.5 อุปกรณ์วิเคราะห์พีเอชในอาหารและระบบทางเดินอาหารของปลา 24

2.2.6 อุปกรณ์สำหรับตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา 24

2.3 วิธีการทดลอง 24

2.3.1 การทดลองที่ 1 ผลของกรดอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของปลาไน 25

2.3.1.1 การเตรียมอุปกรณ์ทดลอง 25

2.3.1.2 การเตรียมปลาทดลอง 25

2.3.1.3 การเตรียมอาหารทดลอง 25

2.3.1.4 แผนการทดลอง 30

2.3.1.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล 30

2.3.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล 36

2.3.2 การทดลองที่ 2 ระดับของกรดอินทรีย์และอนินทรีย์ฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของปลาไน 37

2.3.2.1 การเตรียมอุปกรณ์ทดลอง 37

2.3.2.2 การเตรียมปลาทดลอง 37

2.3.2.3 การเตรียมอาหารทดลอง 37

2.3.2.4 แผนการทดลอง 37

2.3.2.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล 38

2.3.2.6 การวิเคราะห์ข้อมูล 38

3. ผลการทดลอง 42

3.1 การทดลองที่ 1 ผลของกรดอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของปลาไน 42

3.1.1 ความผิดปกติและพฤติกรรมของปลาไนที่ได้รับสูตรอาหารต่าง ๆ 42

3.1.2 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว 42

3.1.3 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอด 44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.4 อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ	46
3.1.5 องค์ประกอบทางเคมีในตัวปลา	47
3.1.6 เถ้าในกระดูก ฟอสฟอรัสในกระดูก และฟอสฟอรัสในมูลของปลา	51
3.1.7 ประสิทธิภาพในการย่อยวัตถุแห้งและฟอสฟอรัส การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลา	53
3.18 พีเอชในอาหาร และพีเอชในระบบทางเดินอาหารของปลา	54
3.2 การทดลองที่ 2 ระดับของกรดอินทรีย์และอนินทรีย์ฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของปลาไน	57
3.2.1 ความผิดปกติและพฤติกรรมของปลาไนที่ได้รับสูตรอาหารต่าง ๆ	57
3.2.2 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว	57
3.2.3 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอด	60
3.2.4 อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ	61
3.2.5 องค์ประกอบทางเคมีในตัวปลา	68
3.2.6 เถ้าในกระดูก ฟอสฟอรัสในกระดูก การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลา	72
3.2.7 พีเอชในอาหาร และพีเอชในระบบทางเดินอาหาร	76
3.2.8 ต้นทุนค่าอาหารและต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลา	79
4. วิจารณ์ผลการศึกษา	82
5. สรุปผลการศึกษา	92
6. ข้อเสนอแนะ	93
เอกสารอ้างอิง	94
ภาคผนวก	103
ประวัติผู้เขียน	111

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	กรดอินทรีย์ที่สำคัญบางชนิด	5
2	สูตรโครงสร้างและค่า pKa ของกรดอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ	7
3	ค่าคงที่ความเสถียร (Stability Constants; log K1) ของโลหะหนักต่อกรดอินทรีย์	10
4	ความต้องการวิตามินของปลาไน	18
5	ความต้องการแร่ธาตุของปลาไน	19
6	องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารของการทดลองที่ 1 (% as fed basis)	27
7	ส่วนประกอบและปริมาณของวัตถุดิบในอาหารทดลองของการทดลองที่ 1	28
8	องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองของการทดลองที่ 1 (% as fed basis)	29
9	องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารของการทดลองที่ 2 (% as fed basis)	39
10	ส่วนประกอบและปริมาณของวัตถุดิบในอาหารทดลองของการทดลองที่ 2	40
11	องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองของการทดลองที่ 2 (% as fed basis)	41
12	น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์	43
13	การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์	45
14	ปริมาณอาหารที่กินและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์	49
15	องค์ประกอบทางเคมีในตัวปลา (เปอร์เซ็นต์) ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์	50
16	เถ้าในกระดูก ฟอสฟอรัสในกระดูก และฟอสฟอรัสในมูลของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์	52
17	ประสิทธิภาพในการย่อยวัตถุแห้งและฟอสฟอรัส การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์	55

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	พีเอชในอาหาร และพีเอชในระบบทางเดินอาหาร ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์	56
19	น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาไนที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟต ทั้ง 9 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์ (3x3 anova)	58
20	น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาไนที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟต ทั้ง 9 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์	59
21	การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตรเป็นเวลา 8 สัปดาห์ (3x3 anova)	64
22	การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตรเป็นเวลา 8 สัปดาห์	65
23	ปริมาณอาหารที่กินและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์ (3x3 anova)	66
24	ปริมาณอาหารที่กินและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์	67
25	องค์ประกอบทางเคมีในตัวปลา (เปอร์เซ็นต์) ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตรเป็นเวลา 8 สัปดาห์ (3x3 anova)	70
26	องค์ประกอบทางเคมีในตัวปลา (เปอร์เซ็นต์) ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตรเป็นเวลา 8 สัปดาห์	71
27	เถ้าในกระดูก ฟอสฟอรัสในกระดูก การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์ (3x3 anova)	74

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
28	เถ้าในกระดูก ฟอสฟอรัสในกระดูก การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตรเป็นเวลา 8 สัปดาห์	75
29	พีเอชในอาหาร และพีเอชในระบบทางเดินอาหาร ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์ (3x3 anova)	77
30	พีเอชในอาหาร และพีเอชในระบบทางเดินอาหาร ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์	78
31	ต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลาของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์ (3x3 anova)	80
32	ต้นทุนค่าอาหาร ผลต่างของราคาอาหาร และต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลาของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์	81

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
1	สูตรโครงสร้างของกรดอินทรีย์	4
2	การแตกตัวของกรดอินทรีย์	7
3	โครงสร้างทางเคมีของกรดไฟติก (myo-inositol 1,2,3,4,5,6-hexakis phosphate)	14

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

อาหาร ถือเป็นต้นทุนหลักในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คิดเป็น 40-60 เปอร์เซ็นต์ ของต้นทุนทั้งหมด ดังนั้น การพัฒนาสูตรอาหารเพื่อลดต้นทุนจึงได้รับความสนใจมาโดยตลอด การนำวัตถุดิบจากพืชทดแทนโปรตีนจากปลาป่น ถือเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ช่วยลดต้นทุนด้านอาหารของสัตว์น้ำได้เป็นอย่างดี เนื่องจากวัตถุดิบจากพืชมีราคาต่ำกว่าปลาป่น จากการสำรวจราคาของกากถั่วเหลืองและปลาป่น พบว่า กากถั่วเหลืองนำเข้ามีราคา 14.12 บาท ในขณะที่ปลาป่นมีราคาสูงถึง 27.64 บาท (สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย, 2555) เห็นได้ว่าราคาของปลาป่นสูงกว่ากากถั่วเหลืองเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม การนำวัตถุดิบจากพืชมาใช้ยังมีปัญหาเรื่องชีวภาพพร้อมใช้ (bioavailability) ส่งผลให้ปลานำสารอาหารบางอย่างไปใช้ได้เพียงบางส่วน เช่น ฟอสฟอรัส พบว่าในรำข้าวและถั่วเหลืองจะจับอยู่กับกรดไฟติก ปลาไม่สามารถนำฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปนี้ไปใช้ได้ จึงทำให้ถูกขับออกมาในรูปของมูลและสะสมอยู่ในแหล่งน้ำ หากมากเกินไปจะทำให้แพลงก์ตอนเจริญเติบโตมากเกินไป ส่งผลให้เกิดภาวะยูโทรฟิเคชั่น (eutrophication) ซึ่งประเด็นปัญหาเรื่องมลภาวะทางน้ำที่เกิดจากอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ถูกยกมาเป็นประเด็นสำคัญในการกีดกันทางการค้าของกลุ่มประเทศในแถบยุโรปและสหรัฐอเมริกา นักวิจัยหลายท่านรายงานตรงกันว่ากรดซิตริก (citric acid) สามารถเพิ่มการนำฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์เพิ่มสูงขึ้นโดยการสลายพันธะของไฟเตท (Zyla *et al.,* 1995; Baruah *et al*.,, 2005) Boling และคณะ (2000) กล่าวว่าการเสริมกรดซิตริกในอาหารช่วยทำให้ไก่นำฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไฟเตทไปใช้ได้เพิ่มสูงขึ้น จากการศึกษาในปลา พบว่า การเสริมกรดอินทรีย์ในอาหารช่วยให้ประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสและดูดซึมแร่ธาตุในปลาเพิ่มสูงขึ้นได้ (Vielma and Lall, 1997; Hossain *et al.,* 2007; Sarker *et al.,* 2007) เช่น ในการศึกษาของ Sugiura และคณะ (1998) พบว่า การเสริมกรดซิตริกในอาหาร 2 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ช่วยให้ประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส แคลเซียม เหล็ก และแมกนีเซียมในตัวของปลาเรนโบว์เทร้าท์ (rainbow trout) เพิ่มขึ้น โดยการลดลงของพีเอชในระบบทางเดินอาหารอาจเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยไฟเตทส่งผลให้การดูดซึมฟอสฟอรัสสูงขึ้น (Jongbloed, 1987) Hossain และคณะ (2007) รายงานว่า การเสริมกรดอินทรีย์ช่วยเพิ่มการดูดซึมของแร่ธาตุ โดยกรดอินทรีย์ไปจับกับแคทไอออน (cation) ที่อยู่ในลำไส้ ส่งผลให้เกิดการรวมตัวกับแร่ธาตุใน

รูปแบบที่ทำให้ง่ายต่อการดูดซึม Khajepour และ Hosseini (2012) ศึกษาปลาเบลูก้า (Beluga; *Huso huso*) ที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0, 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ มีแคลเซียม ฟอสฟอรัสในกล้ามเนื้อและในซีรัมเพิ่มสูงขึ้น โดยให้เหตุผลเช่นเดียวกับการศึกษาข้างต้น (Vielma and Lall, 1997; Hossain *et al.,* 2007; Sarker *et al.,* 2007) การเสริมกรดอินทรีย์สามารถทำให้ระดับพีเอชในระบบทางเดินอาหารลดลงได้ เช่น Baruah และคณะ (2005) พบว่า ปลายี่สกเทศที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 3 เปอร์เซ็นต์ มีความเป็นกรดในระบบทางเดินอาหารสูงกว่าปลาที่ไม่ได้รับกรดซิตริก ปลาไนเป็นปลาในกลุ่มเดียวกับปลายี่สกเทศ ไม่มีกระเพาะอาหาร จึงไม่สามารถหลั่งกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) ได้เหมือนปลาที่มีกระเพาะอาหารทั่วไป ทำให้ระบบทางเดินอาหารมีความเป็นกรดต่ำ และส่งผลให้การนำแร่ธาตุในอาหารไปใช้ต่ำ การเสริมกรดอินทรีย์ในอาหารอาจเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยเพิ่มความเป็นกรดในระบบทางเดินอาหารของปลาไนได้เช่นเดียวกับปลายี่สกเทศ และอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แร่ธาตุให้เพิ่มสูงขึ้น ได้มีการศึกษาการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหารปลาไนและให้ผลในเชิงบวกต่อปลา เช่น Phromkunthong และคณะ (2010a) พบว่า ปลาไนที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.22 เปอร์เซ็นต์ ควบคู่กับเอนไซม์ไฟเตสช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสดีกว่าปลาที่ได้รับเอนไซม์ไฟเตสเพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับการศึกษาของ Phromkunthong และคณะ (2010b) พบว่า ปลาไนที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.25 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ควบคู่กับเอนไซม์ไฟเตสมีแนวโน้มที่การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสดีกว่าปลาที่ได้รับเอนไซม์ไฟเตสเพียงอย่างเดียว และยังพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.5 เปอร์เซ็นต์ ควบคู่กับเอนไซม์ไฟเตส ช่วยลดฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งให้ต่ำกว่าปลาที่ได้รับเอนไซม์ไฟเตสเพียงอย่างเดียว จากการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่า การเสริมกรดอินทรีย์มีแนวโน้มที่ดีต่อปลาไน โดยอาจทำให้ปลาไนสามารถนำแร่ธาตุในอาหารไปใช้ได้สูงขึ้น และทำให้ปลาสามารถลดระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตซึ่งเป็นรูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ปลาไนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีที่สุด หากปลาสามารถนำฟอสฟอรัสไปใช้ได้มากขึ้นเมื่อได้รับกรดจะทำให้สามารถลดระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่เสริมในอาหารและจะทำให้สามารถลดต้นทุนค่าอาหารลงได้

1.2 ตรวจเอกสาร

1.2.1 ความสำคัญของกรดอินทรีย์

ความหมายของกรดอินทรีย์

กรดอินทรีย์ (organic acids) เป็นกรดที่สามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ เช่น ในพืช สัตว์ หรือจุลินทรีย์ และสามารถสังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อนำไปใช้ได้เช่นเดียวกัน กรดอินทรีย์ ถือเป็นกรดที่มีบทบาทสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ เช่น กรดอินทรีย์ที่เป็นกรดไขมัน จะทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบของฟอสโฟลิปิด (phospholipid) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ในสัตว์พบว่ากรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดซิตริก กรดมาลิก (malic acid) หรือกรดฟูมาริก (fumaric acid) ก็มีส่วนสำคัญในวัฏจักรกรดซิตริก (citric acid cycle) ซึ่งเป็นการสลายสารอาหารเพื่อให้ได้พลังงานออกมา (นงพงา, 2551)

กรดอินทรีย์หรือกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acids) เป็นสารประกอบที่ปลายด้านหนึ่งของโมเลกุลเป็นหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl, -COOH) ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งหากเป็นหมู่อัลคิล (alkyl, R) จะเรียกว่า กรดอินทรีย์แบบอะลิฟาติก (R-COOH) และหากเป็นหมู่อะริล (Ar) ก็จะเรียกว่ากรดอินทรีย์แบบอะโรมาติก (Ar-COOH) ดังรูปที่ 1

กรดอินทรีย์แบบอะโรมาติก

กรดอินทรีย์แบบอะโรมาติก (aromatic acid) หมายถึง สารประกอบที่มีหมู่คาร์บอกซิลติดกับอะโรมาติกนิวเคลียส มีสูตรทั่วไปเป็น Ar-COOH เช่น กรดเบนโซอิก (benzoic acid) กรดซาลิไซลิก (salicylic acid) กรดพธาลิก (phthalic acid)

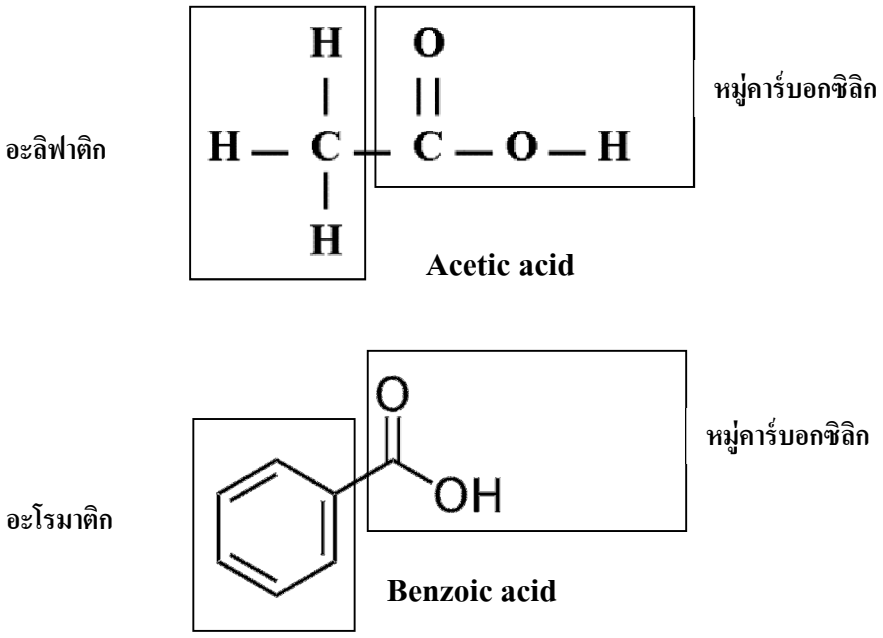
กรดอินทรีย์แบบอะลิฟาติก

กรดอินทรีย์แบบอะลิฟาติก (aliphatic acid) หมายถึงสารประกอบที่มีหมู่คาร์บอกซิลติดกับหมู่อัลคิล (R) มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_nH_{2n}O_2$ โดยที่ n เริ่มตั้งแต่ 1, 2, 3,... และมีสูตรทั่วไปเป็น R-COOH ชนิดของกรดอินทรีย์สามารถแบ่งตามจำนวนของหมู่คาร์บอกซิลได้ดังนี้

1. โมโนคาร์บอกซิลิกเอซิด (monocarboxylic acid) คือ มีหมู่ -COOH 1 หมู่ เช่น กรดฟอร์มิก (formic acid) กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก (propionic acid)

2. ไดคาร์บอกซิลิกเอซิด (dicarboxylic acid) คือ มี -COOH 2 หมู่ เช่น กรดฟูมาริก (fumaric acid) กรดมาลิก กรดออกซาลิก (oxalic acid)

3. ไตรคาร์บอกซิลิกเอซิด (tricarboxylic acid) คือ มี -COOH 3 หมู่ เช่น กรดซิตริก กรดไอโซซิตริก (isocitric acid) (ประดิษฐ์, 2545)



รูปที่ 1 สูตรโครงสร้างของกรดอินทรีย์
ที่มา : ชนิตา (2542)

ตารางที่ 1 กรดอินทรีย์ที่สำคัญบางชนิด

ชื่อ	แหล่งกำเนิด	ประโยชน์
กรดฟอร์มิก	พบในมด ผึ้ง และแมลงบางชนิด	ใช้ในการทำให้น้ำยางดิบจากไม้จับเป็นก้อน เพิ่มประสิทธิภาพการย่อยของฟอสฟอรัสของปลาเรนโบว์เทร้าท์
กรดอะซิติก	การหมักเอทธิลแอลกอฮอล์	ใช้ในการเตรียมสีตะกั่ว และอะซีโตน
กรดเบนโซอิก	จากการกลั่นยางไม้	ใช้เป็นสารกันบูด
กรดออกซาลิก	เป็นเกลือในผลไม้จำพวกรสเปรี้ยว	ใช้ในการฟอกสีฟาง ล้างรอยเปื้อน
กรดแลกติก	พบในนมเปรี้ยว แบคทีเรียบางชนิด เช่น *Lactobacillus* sp.	ควบคุมแบคทีเรียในระบบทางเดินอาหาร
กรดทาร์ทาริก	พบในองุ่น	ใช้เป็นผงฟู
กรดซิตริก	พบในมะนาว สับปะรด	เพิ่มการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในปลาป่นของปลาเรนโบว์เทร้าท์

ดัดแปลงจาก : ประดิษฐ์ (2545)

1.2.2 **คุณสมบัติทางเคมีของกรดอินทรีย์**

ความสามารถในการละลายน้ำของกรดอินทรีย์

กรดอินทรีย์เป็นโมเลกุลมีขั้ว ซึ่งเกิดจากหมู่ COOH เหมือนกับแอลกอฮอล์ในแง่ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล ดังนั้นกรดอินทรีย์จึงสามารถก่อพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลได้ถึง 2 พันธะ โดยจะให้โปรตอน (H^+) กับโมเลกุลหรือไอออนที่มีความเป็นกรดน้อยกว่า เนื่องจากกรดอินทรีย์สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ จึงทำให้กรดอินทรีย์สามารถละลายน้ำได้ โดยกรดอินทรีย์ที่มีจำนวนคาร์บอนต่ำจะละลายน้ำได้ดีมาก และเมื่อจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น ความสามารถในการละลายน้ำก็จะลดลง เช่น กรดวาลีริก (valeric acid) ซึ่งมีจำนวนคาร์บอนในสายโมกุล คือ 5 อะตอม มีความสามารถในการละลายน้ำ 4.97 กรัม ต่อ 100 กรัม ที่ 20 องศาเซลเซียส ขณะที่กรดคาโพรอิก (caproic acid) ซึ่งมีจำนวนคาร์บอนในสายโมเลกุล คือ 6 อะตอม มีความสามารถในการละลายน้ำ 1.08 กรัม ต่อ 100 กรัม ที่ 20 องศาเซลเซียส (ชนิตา, 2542; ชัยวัฒน์, 2531)

ความเป็นกรดของกรดอินทรีย์

กรดอินทรีย์แตกตัวให้ไอออน เรียกว่าการเกิดไอออนไนเซชัน โดยการแตกตัวจะอยู่ในสมดุลระหว่าง กรดอินทรีย์ คาร์บอกซิเลทไอออน (carboxylate ion) และโปรตอน (ดังรูปที่ 2) กรดอินทรีย์ซึ่งเป็นกรดอ่อนจะแตกตัวได้ไม่หมด โดยกรดชนิดต่าง ๆ จะมีค่าที่กำหนดความสามารถในการปลดปล่อยโปรตอนออกมาเรียกว่าค่า K_a หากค่ายิ่งสูงแสดงถึงกรดยิ่งแตกตัวเป็นไอออนได้มาก หรือเป็นกรดแก่ ขณะที่ค่า pK_a ยิ่งน้อยความเป็นกรดของสารนั้นจะยิ่งมาก กรดอินทรีย์บางชนิดมีความสามารถในการแตกตัวให้โปรตอนได้หลายครั้ง จึงทำให้มีค่า pK_a มากกว่าหนึ่งค่า เช่น กรดซิตริก พบว่ามีค่า pK_a คือ pK_{a1} = 3.15, pK_{a2} = 4.77 และ pK_{a3} = 6.40 กรดแบบอะลิฟาติกโดยทั่วไปจะมีความแรงของกรดลดลงเมื่อหมู่อัลคิลมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้น (พิมพ์จิตร, 2536) ขณะที่กรดแบบอะโรมาติกจะได้รับผลของเรโซแนนซ์ (resonance effect) ในวงแหวนเบนซีน จึงทำให้เป็นกรดที่แรงกว่ากรดแบบอะลิฟาติก เช่น กรดเบนโซอิก (pK_a = 4.18) เป็นกรดที่แรงกว่ากรดอะซิติก (pK_a = 4.76) (ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) (ชัยวัฒน์, 2531)

จุดเดือดและจุดหลอมเหลวของกรดอินทรีย์

กรดอินทรีย์โซ่ตรงมีจุดเดือดเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักโมเลกุลที่เพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ยแล้วเพิ่มขึ้นประมาณ 20 องศาเซลเซียสต่อหนึ่งหมู่ของ CH_2 ที่เพิ่มขึ้น เช่น กรดแอซิติกมีจุดเดือดที่ 118 องศาเซลเซียส แต่กรดโพรไพโอนิกมีจุดเดือดที่ 141 องศาเซลเซียส ทางด้านจุดหลอมเหลว กรดอินทรีย์ที่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่จะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดอินทรีย์ที่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคี่ตัวถัดไป เช่น กรดแอซิติกหลอมเหลวที่ 16.6 องศาเซลเซียส แต่กรดโพรไพโอนิกหลอมเหลวที่ -21 องศาเซลเซียส (พิมพ์จิตร, 2536)

ความแตกต่างระหว่างกรดอินทรีย์และกรดอนินทรีย์

กรดอนินทรีย์ คือ กรดที่ประกอบด้วยไฮโดรเจนและธาตุอื่น เช่น กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) กรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น การแตกตัวของกรดอินทรีย์จะแตกต่างจากการแตกตัวของกรดอนินทรีย์ คือ กรดอินทรีย์จะแตกตัวได้น้อยกว่ากรดอนินทรีย์ เช่น กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric) ซึ่งเป็นกรดแก่จะแตกตัว 100 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่กรดอินทรีย์เป็นกรดอ่อนจะแตกตัวได้น้อยกว่า (ดนัยศักดิ์, 2550)

รูปที่ 2 การแตกตัวของกรดอินทรีย์
ที่มา : ประดิษฐ์ (2545)

ตารางที่ 2 สูตรโครงสร้างและค่า pK_a ของกรดอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ

กรด	สูตรโครงสร้าง	pKa
Acetic acid	CH_3COOH	4.76
Butyric acid	$CH_3CH_2CH_2COOH$	4.82
Citric acid	$COOHCH_2C$ (OH) (COOH) CH_2COOH	3.13
Formic acid	HCOOH	3.75
Lactic acid	CH_3CH (OH) COOH	3.83
malic acid	$COOHCH_2CH$ (OH) COOH	3.40
Propionic acid	$CH_3CH2COOH$	4.88
Tartaric acid	COOHCH (OH) CH (OH) COOH	2.93

ดัดแปลงจาก : Dibner and Buttin (2002)

1.2.3 กรดอินทรีย์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แร่ธาตุ

จากการศึกษาการนำกรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก กรดฟอร์มิก และกรดมาลิก ไปใช้ในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสและเพิ่มการดูดซึมแร่ธาตุ พบว่า การเสริมกรดอินทรีย์ในอาหารจะให้ผลในทางบวกแก่สัตว์ เช่น จากการศึกษาของ Boling และคณะ (2000) พบว่า การเสริมกรดซิตริก 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยเพิ่มการใช้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไฟเตทในลูกไก่เนื้อผสม (New Hampshire × Columbian) และการเสริมกรดซิตริกจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสในลูกสุกรผสม (Line 326 ser x C22 dam) ได้ จากการศึกษาหลายงานวิจัยได้ผลที่คล้ายกัน เช่น กรดอินทรีย์ที่เสริมในอาหารช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสให้แก่ ลูกสุกรผสม ([Finnish Landrace×Dutch Landrace]×Cofok) และลูกไก่เนื้อผสม (New Hampshire × Columbian) (Jongbloed *et al*., 2000; Rafacz-Livingston *et al*., 2005) สำหรับการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหารปลา พบว่า ให้ผลที่คล้ายกับในสัตว์บก เช่น จากการศึกษาของ Vielma และ Lall (1997) ที่ศึกษาอิทธิพลของการเสริมกรดฟอร์มิกต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อย (apparent digestibility coefficient) ของแร่ธาตุในปลาเรนโบว์เทร้าท์ โดยในอาหารจะมีฟอสฟอรัสระดับที่ต่ำและเสริมกรดฟอร์มิก ที่ 0, 4 และ 10 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัม พบว่า ประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสเพิ่มจาก 69.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 75.0 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารที่เสริมกรดฟอร์มิก 10 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัม และพบว่า ประสิทธิภาพการย่อยแมกนีเซียมและแคลเซียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Sugiura และคณะ (1998) ที่พบว่า การเสริมกรดซิตริกในอาหาร 5 เปอร์เซ็นต์ ช่วยให้ประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของปลาเรนโบว์เทร้าท์ (rainbow trout) เพิ่มขึ้นจาก 68.3 เป็น 84.4 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการใช้แคลเซียมเพิ่มขึ้นจาก 22.0 เป็น 52.0 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการใช้เหล็กเพิ่มขึ้นจาก 1.7 เป็น 10.9 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นจาก 69.4 เป็น 86.6 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่า การเสริมกรดซิตริกลงในอาหารจะทำให้พีเอชในมูลของปลาเรนโบว์เทร้าท์ลดลง ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Baruah และคณะ (2005) ที่พบว่า การเสริมกรดซิตริกลงในอาหารปลายี่สกเทศส่งผลให้พีเอชในลำไส้ของปลายี่สกเทศลดลงเช่นกัน จากการทดลองเลี้ยงปลายี่สกเทศ (*Labeo rohita*) โดยเสริมกรดซิตริกในอาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาที่กินอาหารที่เสริมกรดซิตริกมีค่าสูงกว่าปลาที่กินอาหารที่ไม่เสริมกรดซิตริก คือ 142.25 และ 126.75 กรัม ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็น 12.22 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น 20.55 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนให้ดีขึ้น (Baruah *et al*., 2005; 2007; Sarker *et al.,* 2007) กรดอินทรีย์แต่ละชนิดจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมี เช่น ความสามารถในการจับกับแร่ธาตุของกรดอินทรีย์แต่ละตัว (ตารางที่ 3) และความสามารถในการแตกตัวของกรด (ตารางที่ 2) ซึ่งมีผลต่อความเป็นกรดในระบบทางเดินอาหาร เช่น จากการศึกษาของ Hossain และคณะ (2007) พบว่า การเสริมกรดอินทรีย์แต่ละชนิดในอาหาร จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการย่อยของฟอสฟอรัส หรือการดูดซึมของแร่ธาตุที่แตกต่างกัน ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาในปลาเรดซีบรีม โดยเสริมกรดอินทรีย์ คือ กรดซิตริก กรดมาลิก กรดแลกติก (lactic acid) กรดเมทไทโอนีนไฮดรอกซีลอนาล็อก และ liquid trace elements อย่างละ 1 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษา พบว่า น้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่กินอาหารที่เสริมกรดซิตริก โมโนแคลเซียมฟอสเฟต และ liquid trace elements ไม่มีความแตกต่างกัน การเสริมกรดแลกติกจะทำให้ปลามีน้ำหนักเฉลี่ยต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำสุดในปลาที่กินอาหารที่เสริมกรดซิตริก การเสริมกรดแลกติกในอาหารถึงแม้ว่าจะทำให้ปลามีน้ำหนักเฉลี่ยต่ำ แต่ค่าการสะสมฟอสฟอรัสที่ได้มีค่าสูงกว่าปลาที่กินอาหารที่เสริมโมโนแคลเซียมฟอสเฟตหรืออาหารในสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Pandey และ Satoh (2008) ที่พบว่า กรดอินทรีย์แต่ละชนิดจะส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แร่ธาตุที่แตกต่างกัน จากการรวบรวมเอกสารพอสรุปได้ว่า การเสริมกรดอินทรีย์มีส่วนช่วยให้ได้รับพลังงานเพิ่มมากขึ้น การสะสมฟอสฟอรัสและไนโตรเจนของปลาที่กินอาหารที่เสริมกรดซิตริก และ liquid trace elements มีค่าสูงกว่าอาหารที่เสริมโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอย่างมีนัยสำคัญ การขับของเสียพวกฟอสฟอรัสและไนโตรเจนลดน้อยลง (Sarker *et al.,* 2007)

จากการรายงานที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่า การเสริมกรดอินทรีย์ลงในอาหารช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้แร่ธาตุ การสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และลดการขับฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำ โดยอาจมีเหตุผล 4 ประเด็น ที่สามารถอธิบายผลการเสริมกรดอินทรีย์ลงในอาหารได้ คือ

1. การเสริมกรดอินทรีย์ในอาหารจะทำให้พีเอชในลำไส้ลดต่ำลง ซึ่งความเป็นกรดด่างในระบบทางเดินอาหารของปลาจะส่งผลดีต่อการใช้ประโยชน์ของแร่ธาตุ โดยจะเพิ่มความสามารถในการละลาย (solubility) ของแร่ธาตุ (วุฒิพร, 2541; Wood and Serfatty-Lacrosniere, 1992; Vielma and Lall, 1997; Hossain *et al.,* 2007)

2. การเสริมกรดอินทรีย์ช่วยเพิ่มการดูดซึมของแร่ธาตุให้สูงขึ้น โดยกรดอินทรีย์สามารถจับกับแคทไอออน (cation) ที่อยู่ในลำไส้ และมีผลให้เกิดการรวมตัวกับแร่ธาตุในรูปแบบที่ทำให้ง่ายต่อการดูดซึมเพื่อนำไปใช้ (Hossain *et al.,* 2007)

3. การเสริมกรดอินทรีย์ลงในอาหารอาจสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปลาป่นที่อยู่ในรูปไตรแคลเซียมฟอสเฟต เช่น กระดูกหรือเกล็ดปลาได้ ซึ่ง Sugiura และคณะ (1998) รายงานว่าการเสริมกรดซิตริกลงในอาหารสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยเสมือน (apparent digestibility) ของแร่ธาตุต่าง ๆ ได้ดี และรายงานไว้ว่าการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสอิสระอาจเกิดจากความสามารถละลายแร่ธาตุจากกระดูกในปลาป่น

4. การเสริมกรดอินทรีย์อาจช่วยเพิ่มการนำฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไฟเตทไปใช้ได้บางส่วน (Baruah *et al*., 2005; 2007 Phromkunthong *et al*., 2010a, b) ซึ่งในประเด็นนี้จะกล่าวในหัวข้อกรดอินทรีย์ต่อการทดแทนปลาป่นด้วยวัตถุดิบจากพืชต่อไป

ตารางที่ 3 ค่าคงที่ความเสถียร (Stability Constants; log K_1) ของโลหะหนักต่อกรดอินทรีย์

กรด	Ca	Cu	Fe(III)	Mg	Mn	Zn
Acetic acid	0.53			0.51		1.03
Citric acid	3.50	6.10	11.85	2.80	3.20	4.50
Formic acid	0.80	1.98	3.10			0.60
Lactic acid	1.07	3.02	6.40	0.93	1.19	1.86
malic acid	1.80	3.40		1.55	2.24	2.80
Tartaric acid	1.80	3.20	7.49	1.36		2.68

ดัดแปลงจาก : Furia (1972)

1.2. กรดอินทรีย์ต่อการทดแทนปลาป่นด้วยวัตถุดิบจากพืช

วัตถุดิบจากพืช ถือเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสที่ราคาถูก เมื่อเปรียบเทียบกับปลาป่น และสามารถใช้ทดแทนปลาป่นเพื่อช่วยลดต้นทุนด้านอาหาร แต่วัตถุดิบจากพืชมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น เรื่องกลิ่นและรสชาดของอาหาร การขาดกรดอะมิโนบางตัว โดยเฉพาะเรื่องชีวภาพพร้อมใช้ของวัตถุดิบพืช ซึ่งเป็นตัวยับยั้งการนำสารอาหารไปใช้ สาเหตุสำคัญที่ทำให้ปลานำฟอสฟอรัสจากวัตถุดิบจากพืชไปใช้ได้น้อย เนื่องจาก ฟอสฟอรัสในพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปกรดไฟติก ไฟติน หรือไฟเตท (NRC, 1993) จากการศึกษาได้มีการรายงานว่า กรดอินทรีย์สามารถเพิ่มการสลายพันธะของไฟเตทได้ในหลอดทดลอง (Zyla *et al*., 1995) และยังมีรายงานว่า กรดอินทรีย์มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของชีวภาพพร้อมใช้ของแร่ธาตุในสัตว์บก (Pak *et al.,* 1987; Ravindran and Kornegay, 1993; Crawford, 1995; Misra, 1996) Sarker และคณะ (2007) ได้ศึกษาการเสริมกรดซิตริกในอาหารที่ทดแทนปลาป่นบางส่วนโดยวัตถุดิบจากพืชเลี้ยงปลาเรดซีบรีม พบว่า ปลาที่กินอาหารที่เสริมกรดซิตริกมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต ขณะที่การสะสมและการดูดซึมฟอสฟอรัสเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งได้ให้เหตุผลว่า อาจเป็นเพราะกรดซิตริกสามารถนำฟอสฟอรัสจากไตรแคลเซียมฟอสเฟตไปใช้เพียงพอต่อความต้องการ นอกจากนี้ อาจเป็นเพราะความสามารถในการนำไฟเตทไปใช้ (Sugiura *et al*., 1998; Boling *et al*., 2000; Brenes *et al*., 2003) จากการศึกษาการเลี้ยงปลายี่สกเทศ โดยใช้อาหารที่มีโปรตีนจากปลาป่นต่ำ และเสริมกรดซิตริกลงในอาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาที่กินอาหารที่เสริมกรดซิตริกมีค่าสูงกว่าปลาที่กินอาหารที่ไม่เสริมกรดซิตริก คือ 142.25 และ 126.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และช่วยปรับปรุงให้ประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนให้ดีขึ้น (Baruah *et al*., 2007) Sarker และคณะ (2012b) ศึกษาการทดแทนปลาป่นด้วยวัตถุดิบจากพืช (กากถั่วเหลืองและคอร์นกลูเต้น) ในอาหาร โดยลดระดับปลาป่นจาก 45 เปอร์เซ็นต์ เป็น 35 เปอร์เซ็นต์ และเสริมกรดซิตริก 1 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนจากปลาป่นต่ำและเสริมกรดซิตริกมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนจากปลาป่นในปริมาณสูง นอกจากนี้ การเสริมเอนไซม์ไฟเตสถือเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการนำฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไฟเตทไปใช้ประโยชน์ โดยเอนไซม์ไฟเตสทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) แยกสารอนินทรีย์ฟอสเฟตออกจากสารอินทรีย์ฟอสเฟตที่ตำแหน่งพันธะ P-O บอนด์ (จิรวัฒน์, 2549) และทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกรดไฟติก หรือไฟเตท โดยทำให้ฟอสเฟตหลุดออกจากโมเลกุลของไฟเตททีละตัว เช่น จากการศึกษาของอัจฉริยา (2547) พบว่า ปลานิลแดง

แปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของโปรตีนสัตว์และโปรตีนพืช 1 : 5 และเสริมเอนไซม์ไฟเตส 1,000 ยูนิต ต่อ อาหาร 1 กิโลกรัมอาหาร จะทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน และประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสเพิ่มสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมเอนไซม์ไฟเตส และพบว่า การเสริมกรดอินทรีย์ควบคู่กับเอนไซม์ไฟเตสลงในอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยวัตถุดิบจากพืชในปริมาณสูง จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แร่ธาตุจากวัตถุดิบพืชได้สูงขึ้น เช่น จากการทดลองความสามารถในการย่อยไฟเตทจากถั่วเหลืองป่นของกรดซิตริกและเอนไซม์ไฟเตสในหลอดทดลอง พบว่า การเสริมกรดซิตริกและเอนไซม์ไฟเตสสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยไฟเตทให้สูงขึ้น ประมาณ 72.80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารที่เสริมเอนไซม์ไฟเตสเพียงอย่างเดียว และเมื่อให้ปลากินอาหารที่เสริมกรดซิตริกและเอนไซม์ไฟเตส พบว่า ปลาที่กินอาหารที่เสริมกรดซิตริก 3 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับเอนไซม์ไฟเตส 500 ยูนิต ต่อ อาหาร 1 กิโลกรัม มีประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสสูงกว่าปลาที่กินอาหารที่เสริมเอนไซม์ไฟเตสเพียงอย่างเดียว 15.38 เปอร์เซ็นต์ การเสริมกรดซิตริกเพียงอย่างเดียว 11.50 เปอร์เซ็นต์ และการเสริมกรดอินทรีย์ควบคู่กับเอนไซม์ไฟเตสจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสอย่างเดียว หรือการเสริมกรดอินทรีย์เพียงอย่างเดียว (Baruah *et al*., 2007) Phromkunthong และคณะ (2010a) ได้ศึกษาการเสริมกรดอินทรีย์ร่วมกับกับเอนไซม์ไฟเตสในปลาไน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.22 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับเอนไซม์ไฟเตส 0.015 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมเอนไซม์ไฟเตสเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ พบว่า เมื่อเสริมกรดซิตริกและเอนไซม์ไฟเตสในอาหารสามารถลดระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตลงครึ่งหนึ่งได้โดยไม่ทำให้การเจริญเติบโตของปลาลดต่ำลง จากผลการทดลองที่กล่าวมา การเพิ่มขึ้นของตัวชี้วัดการเจริญเติบโตและความสามารถในการนำสารอาหารไปใช้อาจเกิดจากความสามารถในการนำฟอสฟอรัสจากวัตถุดิบไปใช้เพิ่มมากขึ้น และการเสริมกรดอินทรีย์อาจส่งผลให้พีเอชในระบบทางเดินอาหารเหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ไฟเตส (Baruah *et al*., 2007; Phromkunthong *et al.,* 2010a, b)

1.2. ความสำคัญของฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อสัตว์น้ำ ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของร่างกาย โดยพบว่าฟอสฟอรัสประมาณ 85-90 เปอร์เซ็นต์ ของฟอสฟอรัสทั้งหมดทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบของกระดูกและเกล็ดของปลาร่วมกับแคลเซียม (Lovell, 1989) ส่วนฟอสฟอรัสที่เหลือประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ ที่พบในเลือดและเนื้อเยื่อจะถูกนำมาเป็นองค์ประกอบต่าง ๆ

ของเซลล์ เช่น อะดีโนซิน ไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate, ATP) ฟอสฟอลิปิด (phospholipids) ดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (Deoxyribonucleic acid, DNA) และโคเอนไซม์ (coenzymes) ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ ของร่างกาย (Lovell, 1978; Davis and Gastlin, 1991; NRC, 1993; Ciofalo *et al*., 2003) นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการปรับสมดุลของแร่ธาตุภายในร่างกาย (Lall, 2002) ปลาที่ได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอหรือขาดฟอสฟอรัสจะเจริญเติบโตช้า ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ปริมาณแคลเซียม ฟอสฟอรัสและเถ้าในตัวปลาต่ำลง และมีความผิดปกติของตัวปลา เช่น การสร้างกระดูกผิดปกติ (Andrew *et al.,* 1973; Wilson *et al.,* 1982; มะลิและจูอะดี, 2533) ปลาไนที่กินอาหารที่มีฟอสฟอรัสไม่เพียงพอจะทำให้การสะสมไขมันในตับเพิ่มสูงขึ้น และความชื้นในตัวปลาลดต่ำลง (Takeuchi and Nakazoe, 1981)

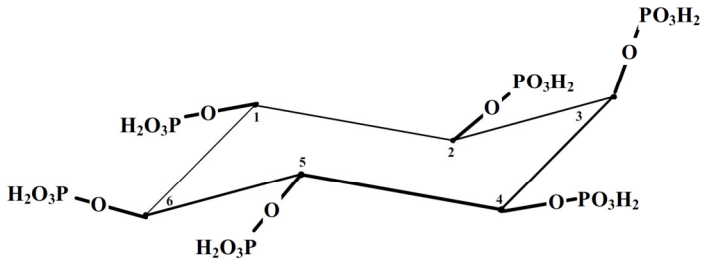
ปลาได้รับฟอสฟอรัสจากสองแหล่ง คือ ฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในน้ำ และจากอาหารที่ปลากิน ซึ่งฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำจะมีอยู่ในปริมาณที่ต่ำมาก โดยต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับฟอสฟอรัสที่ได้จากอาหาร ดังนั้นฟอสฟอรัสในอาหารจึงถือว่าเป็นแหล่งที่มีความสำคัญมากที่สุดสำหรับปลา (NRC, 1993) ฟอสฟอสรัสในอาหารได้มาจาก 3 แหล่งที่สำคัญ คือ วัตถุดิบจากพืช วัตถุดิบจากสัตว์ และอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมในอาหาร

1. วัตถุดิบจากพืช เป็นแหล่งของฟอสฟอรัสที่มีราคาถูกสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบเพื่อลดต้นทุนด้านอาหารได้ แต่มีข้อจำกัดหลายประเด็น เช่น กลิ่น รสชาดของอาหาร และการนำไปใช้ประโยชน์ ถึงแม้ว่าวัตถุดิบเหล่านี้จะมีฟอสฟอรัสในปริมาณที่สูงแต่อยู่ในรูปที่ปลาสามารถนำไปใช้ได้น้อย โดยฟอสฟอรัสพืช 2 ใน 3 จะอยู่ในรูปของกรดไฟติก ซึ่งรวมอยู่กับเกลือของแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม เรียกว่าไฟติน (Dey and Harborne, 1990) ส่วนเกลือของกรดไฟติกที่รวมอยู่กับอินโนซิทอลกับฟอสเฟต จะเรียกว่า ไฟเตท (Uhlig, 2002) ซึ่งเป็นรูปแบบที่ปลาไม่สามารถนำไปใช้ได้ จากการรายงานพบว่าปลาสามารถนำฟอสฟอรัสที่อยู่ในกากถั่วเหลือง และรำข้าวเพียง 8-20 เปอร์เซ็นต์ (วีรพงศ์, 2536)

2. วัตถุดิบจากสัตว์ ถือเป็นแหล่งฟอสฟอรัสที่ปลานำไปใช้ได้ดีกว่าวัตถุดิบจากพืช โดยเฉพาะปลาป่น ซึ่งพบว่า ปลาสามารถนำฟอสฟอรัสจากปลาป่นไปใช้ได้ประมาณ 60-80 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของปลา เช่น ปลาแซลมอนสามารถใช้ฟอสฟอรัสจากปลาป่นได้ดีกว่าปลานิล โดยปลาแซลมอนสามารถนำไปใช้ได้ 71 เปอร์เซนต์ ขณะที่ปลานิลนำไปใช้ได้ 65 เปอร์เซ็นต์ (Watanabe *et al*., 1980a, b) อย่างไรก็ตาม ปลาป่นยังมีฟอสฟอรัสบางส่วนที่อยู่ใน

รูปสารประกอบไฮดร๊อกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite) ซึ่งเป็นรูปแบบที่ปลาสามารถดูดซึมมาใช้ได้น้อย (Jobling, 1994)

3. อนินทรีย์ฟอสเฟต ถึงแม้ว่าวัตถุดิบจากพืชและสัตว์จะมีฟอสฟอรัสในปริมาณที่สูงแต่อยู่ในรูปที่ปลาสามารถในไปใช้ได้น้อยจึงจำเป็นต้องเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตลงไป ซึ่งรูปแบบที่นิยมใช้มี 3 แบบ คือ โมโนเบสิค ไดเบสิค และไตรเบสิค โดยปลาสามารถนำฟอสฟอรัสในรูปโมโนเบสิคและไดเบสิคได้ง่ายกว่าไตรเบสิค เนื่องจากอยู่ในรูปที่แตกตัวได้ง่ายกว่า จากการรายงานพบว่าปลาเรนโบว์เทร้าท์ สามารถนำฟอสฟอรัสจากโมโนแคลเซียมฟอสเฟตมาใช้ประโยชน์ได้ 94 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัสจากไตรแคลเซียมฟอสเฟตได้ 64 เปอร์เซ็นต์ และปลาไนสามารถนำฟอสฟอรัสจากโมโนแคลเซียมฟอสเฟตไปใช้ประโยชน์ได้ 94 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัสจากไตรแคลเซียมฟอสเฟตได้ 13 เปอร์เซ็นต์ (Clark, 1989) การเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในอาหารจะเสริมเพิ่มจากฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ที่อยู่ในวัตถุดิบอาหารต่าง ๆ เพื่อให้เพียงพอกับระดับฟอสฟอรัสที่เหมาะสมของปลาแต่ละชนิด จากการรายงาน พบว่า Phromkunthong และคณะ (2010a, b) จะเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตให้กับปลาไนเพิ่มขึ้นประมาณ 1.1-1.4 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามแม้ว่าการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตจะทำให้อาหารมีปริมาณฟอสฟอรัสตามความต้องการ แต่ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งออกมากับมูลเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน (Kim *et al.,* 1998)



รูปที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของกรดไฟติก (myo-inositol 1,2,3,4,5,6-hexakis phosphate)
ที่มา : Adeola และ Sands (2003)

1.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 อนุกรมวิธานของปลาไน

ปลาไนเป็นปลาน้ำจืด มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cyprinus carpio* ในประเทศจีนเรียกว่า หลีฮื้อ หรือ หลีโกว ในแถบภาคพื้นยุโรปและอเมริกา เรียกว่า คอมมอนคาร์พ (common carp) Berg (1974) ได้จัดเรียงอนุกรมวิธานของปลาไนให้อยู่ในวงศ์เดียวกับพวกปลาตะเพียน (Cyprinidae) ดังนี้

Phylum Vertebrata

Class Teleostomi

Subclass Actinopterygii

Order Cypriniformes

Suborder Cyprinoidei

Family Cyprinidae

Genus *Cyprinus*

Species *carpio*

1.2.2 รูปร่างลักษณะทั่วไปของปลาไน

ปลาไนเป็นปลาที่อยู่วงศ์เดียวกับปลาตะเพียน อาศัยอยู่ตามแม่น้ำลำธาร และทะเลสาบทั่วไป มีถิ่นกำเนิดในแถบประเทศจีนและมีประวัติการเลี้ยงยาวนาน สำหรับประเทศไทยเชื่อว่า คนจีนที่เข้ามาตั้งรกรากในประเทศไทยเป็นผู้นำเข้ามา ลักษณะของปลาไนจะคล้ายกับปลาตะเพียน โดยมีเกล็ดกลมใหญ่ทั่วตัว ส่วนหัวจะไม่มีเกล็ด ริมฝีปากหนาและมีหนวด 2 คู่ ปลาเล็กจะไม่มีฟัน ครีบหลังเป็นครีบเดียวยาว รูปร่างลักษณะภายนอกของปลาไนเพศผู้และเพศเมียมีลักษณะคล้ายกันมาก โดยสังเกตจากลักษณะของลำตัว เพศผู้จะมีลำตัวเรียวยาว พื้นท้องไม่อูมเป่ง แต่จะมีลักษณะตึงค่อนไปทางแข็ง หากนำมือบีบท้องและไล่มือไปทางช่องทวารเบา ๆ จะมีน้ำสีขาวคล้ายน้ำนมไหลออกมาจากช่องเพศ และหากนำมือลูบที่แก้มหรือเกล็ดตามตัวจะรู้สึกสาก ส่วนเพศเมียจะมีลำตัวป้อม ช่วงท้องตอนล่างอวบใหญ่แบน โดยเฉพาะในฤดูวางไข่ เพศเมียท้องจะอูมเป่งออกมาทั้งสองข้าง พื้นท้องนิ่ม หากบีบท้องเบา ๆ ไข่จะไหลออกมาทางช่องเพศ เมื่อลูบที่แก้มหรือเกล็ดตามตัวจะรู้สึกลื่นกว่าตัวผู้ สีของลำตัวปลาไนโดยมากจะเป็นสีเงินปนเทา บางครั้งจะมีสีเหลืองอ่อน และบางตัวจะมีสีทองตลอดตัว (นฤมล, 2550)

1.2.3 การเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์

ปลาไนสามารถเลี้ยงได้ในภูมิอากาศร้อน ในพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล 1,000 เมตร ส่วนในพื้นที่ต่ำกว่า 150 เมตร และสูงกว่า 100 เมตร จะมีการเจริญเติบโตช้า อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 20-25 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่เหมาะปลาไนสามารถโตได้มากถึง 2.5-5 เซนติเมตร ต่อเดือน ปลาไนจะเจริญเติบโตพอที่จะสืบพันธุ์ได้เมื่ออายุประมาณ 6 เดือน โดยมีความยาวตัวประมาณ 25 เซนติเมตร แม่ปลาหนัก 1 กิโลกรัม จะมีไข่ประมาณ 10,000 ฟอง โดยแม่ปลาหนึ่งตัวอาจวางไข่ได้ถึง 2 ครั้ง (นฤมล, 2550)

1.2.4 ถิ่นที่อยู่อาศัยและนิสัยการกินอาหาร

ปลาไนสามารถปรับตัวเข้ากับธรรมชาติได้รวดเร็ว สามารถอยู่ได้ในน้ำที่เป็นกรดหรือด่าง และน้ำที่มีความเค็ม 20 ส่วนในพันส่วน พีเอชที่เหมาะสม คือ 6.5-9.0 มีความทนทานต่อการขาดแคลนก๊าซออกซิเจน (0.3-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) ปลาไนเป็นปลาที่กินได้ทั้งพืชและสัตว์ เช่น ตัวอ่อนแมลงหอย พวกพืชผักที่เน่าเปื่อย และแพลงก์ตอนที่เกาะอาศัยอยู่ตามต้นพืช ขณะที่ลูกปลาจะกินสัตว์เซลล์เดียวและกุ้งปูขนาดเล็กเป็นอาหาร (เมฆ, 2530)

1.2.5 ความต้องการสารอาหารของปลาไน

ความต้องการสารอาหารของปลาไนคล้ายกับปลาทั่วไป คือ โปรตีน คาร์โบไฮเดรตไขมัน แร่ธาตุ และวิตามิน โดยความต้องการสารอาหารแต่ละชนิดจะแตกต่างตามสภาวะแวดล้อมและชนิดของสัตว์น้ำ จากการรายงานของ Takeuchi และคณะ (2002) พบว่าปลาไนมีความต้องการสารอาหารต่าง ๆ ดังนี้

1.2.5.1 ระดับความต้องการโปรตีน

ระดับความต้องการโปรตีนของปลาจะแตกต่างตาม ชนิด ขนาด อายุ หรือสภาวะแวดล้อม เช่น ระดับโปรตีนที่เหมาะสมของลูกปลากลุ่มแซลมอน (salmonids) จะอยู่ที่ 45-50 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปลาวัยอ่อนจะต้องการโปรตีนประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อปลาอายุประมาณหนึ่งปี ความต้องการโปรตีนจะลดลงเหลือประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความต้องการโปรตีนของปลาบางชนิด เช่น ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ปลาสไตรป์แบส (striped bass; *Morone saxatilis*) มีความต้องการโปรตีน 47 เปอร์เซ็นต์ และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 24 องศาเซลเซียส ปลาชนิดนี้มีความต้องการโปรตีนเพิ่มขึ้นเป็น 55 เปอร์เซ็นต์ (Halver and Hardy, 2002) จากการรายงาน

พบว่าระดับความต้องการโปรตีนของปลาไนอยู่ที่ 38 เปอร์เซ็นต์ และมีการรายงานในปีหลังจากนั้นว่าที่อุณหภูมิ 22-25 องศาเซลเซียส ระดับโปรตีนที่เหมาะสมต่อปลาไน คือ 31-38 เปอร์เซ็นต์ (Takeuchi *et al.,* 1979) ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของนักวิจัยบางท่าน ที่พบว่าระดับโปรตีนในอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาไนจะอยู่ในช่วง 30-38 เปอร์เซ็นต์ (Takeuchi *et al.*, 2002)

1.2.□□2 ระดับความต้องการไขมัน

ไขมันเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญต่อสัตว์น้ำ โดยทำหน้าที่เป็นแหล่งของพลังงาน กรดไขมัน และเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ จากการรายงาน พบว่า เมื่อโปรตีนในอาหารที่เลี้ยงปลาเรนโบว์เทร้าท์ลดลงจาก 48 เหลือ 35 เปอร์เซ็นต์ จะไม่ทำให้น้ำหนักปลาลดลง หากเพิ่มไขมันจาก 15 เปอร์เซ็นต์ เป็น 20 เปอร์เซ็นต์ (NRC, 1993) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทดแทนโปรตีนสามารถทำได้โดยเพิ่มปริมาณไขมันในอาหาร การสร้างสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงปลาแต่ละชนิดไม่เพียงแต่ต้องคำนึงถึงสัดส่วนระหว่างโปรตีนกับพลังงาน แต่ยังต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของระดับไขมันด้วย โดยนักวิจัยบางท่านได้ให้ความเห็นว่าระดับไขมันที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาในกลุ่มปลาตะเพียน (cyprinids) อาจไม่เกิน 12 เปอร์เซ็นต์ (Kaushik, 1995) ซึ่งจากการรายงานพบว่าระดับไขมันที่เหมาะสมต่อปลาไนอยู่ระหว่าง 5-15 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับพลังงานในอาหาร 310-360 กิโลแคลลอรี นอกจากนี้กรดไขมันจำเป็นที่สำคัญ เช่น 18:3n-3 และ 18:2n-6 ในอาหาร 1 เปอร์เซ็นต์ จะเป็นระดับที่ทำให้ปลาไนระยะวัยอ่อนมีการเจริญเติบโตดีที่สุด (Takeuchi *et al.,* 2002)

1.2.□□3 ระดับความต้องการคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ให้พลังงานที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของสัตว์ โดยพบว่า ปลาในเขตอบอุ่นสามารถใช้ประโยชน์จากคาร์โบไฮเดรตได้ดีกว่าปลาในเขตหนาว และความสามารถในการใช้ประโยชน์จากคาร์โบไฮเดรตยังขึ้นอยู่กับชนิดของปลาเหล่านั้นด้วย เช่น ปลากินพืชสามารถย่อยแป้งได้ดีกว่าปลากินทั้งพืชและสัตว์ และปลากินสัตว์ ตามลำดับ โดยจากการศึกษาพบว่า ปลาไน ปลากดอเมริกัน (channel catfish; *Ictalurus punctatus*) ปลาเรดซีบรีม และปลานิลสามารถใช้ประโยชน์จากคาร์โบไฮเดรตได้ดีกว่าปลาหางเหลือง (yellowtail; *Seriola quinqueradiata*) และปลาในกลุ่มแซลมอน การเสริมคาร์โบไฮเดรตลงในอาหารเป็นการลดต้นทุนด้านวัตถุดิบให้ถูกลง ดังนั้นจึงได้รับความสนใจอย่างมาก จากการศึกษาพบว่าปลาไนไม่สามารถย่อยเซลลูโลสไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ ต่างจากคาร์โบไฮเดรตพวกอื่น เช่น ข้าวหรือมันสำปะหลัง ซึ่ง

พบว่า ปลาไนสามารถใช้คาร์โบไฮเดรตจากข้าวหรือมันสำปะหลังได้ดี นอกจากนี้ระดับของคาร์โบไฮเดรตที่เสริมลงในอาหารยังมีผลต่อการเจริญเติบโตด้วย เช่น ปลาเรนโบว์เทร้าท์ ปลาเพลซ (plaice; *Pleuronectes platessa*) และปลาหางเหลืองสามารถใช้ประโยชน์จากคาร์โบไฮเดรตพวกเด็กตริน (dextrin) เป็นแหล่งพลังงานได้ดี เมื่อมีคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปลาไนและปลาดุกอเมริกันสามารถใช้คาร์โบไฮเดรตมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ (NRC, 1993) ซึ่งจากการรายงาน พบว่า ระดับคาร์โบไฮเดรตในอาหารเลี้ยงปลาไนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 30-40 เปอร์เซ็นต์ (Takeuchi *et al.*, 2002)

1.2. ระดับความต้องการวิตามิน

วิตามินมีความจำเป็นต่อสัตว์น้ำถึงแม้จะต้องการในปริมาณน้อยก็ตาม โดยพบว่า หากขาดวิตามินจะทำให้มีการเจริญเติบโตต่ำ และเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น การขาดวิตามินซีจะทำให้อัตราเจริญเติบโตลดลง เกิดสคอลิโอซิส (scoliosis) ลอโดซิส (lordosis) การรักษาแผลทำได้ช้า ปลาที่เลี้ยงในระบบหนาแน่นจะมีความต้องการวิตามินสูงกว่าปลาที่เลี้ยงในระบบหนาแน่นต่ำโดย Takeuchi และคณะ (2002) ได้รายงานความต้องการวิตามินของปลาไนไว้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ ความต้องการวิตามินของปลาไน

วิตามิน	**ความต้องการ (มก. ต่อ กก. น้ำหนักแห้งของอาหาร)**
Vitamin A	4000 IU
Vitamin E	100
Thiamine	0.5
Riboflavin	7
Pyridoxine	6
Pantothenic acid	30
Niacin	28
Biotin	1
Choline	500
Inositol	440
Vitamin C	Required

ดัดแปลงจาก Takeuchi และคณะ (2002)

1.2. ระดับความต้องการแร่ธาตุ

ปลาน้ำจืดจะดูดซึมแร่ธาตุผ่านเหงือก (Lall, 1991) โดย พบว่า ปลาไนสามารถดูดซึมแคลเซียมไอออน (Ca^{++}) ได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่การดูดซึมฟอสฟอรัสผ่านทางเหงือกได้เพียง 2-3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงทำให้สัตว์น้ำมีความต้องการฟอสฟอรัสเสริมในอาหาร โดยเฉพาะปลาที่ไม่มีกระเพาะอาหาร เช่น ปลาไนจะไม่มีกรดที่หลั่งออกมาจากกระเพาะอาหาร ทำให้ไม่สามารถนำฟอสฟอรัสไปใช้ได้เต็มที่ เนื่องจากไม่มีกรดที่จะกระตุ้นการแตกตัวของฟอสฟอรัส เช่น ปลาเรนโบว์เทร้าท์ ซึ่งเป็นปลาที่มีกระเพาะอาหารสามารถย่อยฟอสฟอรัสในปลาป่นได้ 74 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปลาคาร์พสามารถย่อยฟอสฟอรัสได้เพียง 24 เปอร์เซ็นต์ (Lovell, 1991) นอกจากนี้ได้รายงานว่า การขาดแมงกานีสทำให้การเจริญเติบโตลดลงกว่าการขาดแมกนีเซียม ทองแดง สังกะสี หรือโคบอลล์ อีกทั้งระดับของแร่ธาตุบางตัวยังมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ เช่น ระดับของสังกะสี และทองแดงจะมีผลต่อระดับกิจกรรมของเอนไซม์ทริปซิน (Brafield and Koodie, 1994; Kotorman *et al*., 2000) Takeuchi และคณะ (2002) ได้รายงานความต้องการแร่ธาตุของปลาไนไว้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ ความต้องการแร่ธาตุของปลาไน

แร่ธาตุ	ความต้องการ
Phosphorus	6-8 g/kg
Magnesium	0.4-0.5 g/kg
Zinc	15-30 mg/kg
Manganese	13 mg/kg
Copper	3 mg/kg
Cobalt	0.1 mg/kg
Iron	150 mg/kg

ดัดแปลงจาก Takeuchi และคณะ (2002)

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของการทดลองที่ 1

เพื่อเปรียบเทียบการเสริมกรดอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโต และการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสของปลาไน

วัตถุประสงค์ของการทดลองที่ 2

เพื่อศึกษาระดับกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสของปลาไน

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ

2.1.1 ปลาทดลอง

2.1.1.1 การทดลองที่ 1 นำปลาไนน้ำหนักเฉลี่ย 1-2 กรัม จากฟาร์มเอกชนในจังหวัดสงขลา 4,000 ตัว มาอนุบาลในบ่อซีเมนต์ ความจุ 6 ตัน จนกระทั่งปลามีน้ำหนักตัวประมาณ 4-5 กรัมต่อตัว จึงนำมาใช้ในการทดลอง

2.1.1.2 การทดลองที่ 2 นำปลาไนน้ำหนักเฉลี่ย 0.5-1 กรัม จากฟาร์มเอกชนในจังหวัดสงขลา 4,000 ตัว มาอนุบาลในบ่อซีเมนต์ ความจุ 3 ตัน จนกระทั่งปลามีน้ำหนักตัวประมาณ 2-3 กรัมต่อตัว จึงนำมาใช้ในการทดลอง

2.1.2 สารเคมี

2.1.2.1 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาการอาหารทดลองและองค์ประกอบทางเคมีของซากปลาทดลอง (ภาคผนวก)

2.1.2.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ฟอสฟอรัสของอาหารทดลอง ซากปลา กระดูกปลา และมูลปลา (ภาคผนวก)

2.1.2.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์โครมิคออกไซด์ในอาหารทดลอง และมูลปลา (ภาคผนวก)

2.1.2.4 สารเคมีสำหรับใช้ป้องกันและรักษาโรคปลา ได้แก่ ออกซีเตตราไซคลิน (oxytetracyclin) ฟอร์มาลิน (formalin) มาลาไคท์กรีน (malachite green)

2.1.2.5 สารเคมีสำหรับสลบปลา คือ น้ำมันกานพลู โดยใช้สลบปลาในระหว่างการชั่งน้ำหนักและเก็บตัวอย่าง (น้ำมันกานพลูไปผสมกับแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1:9)

2.1.2.6 คลอรีนผง และโซเดียมไธโอซัลเฟต สำหรับฆ่าเชื้อโรคในน้ำเพื่อเตรียมน้ำสำหรับเลี้ยงปลา

2.1.3 อาหารสำหรับอนุบาลลูกปลาก่อนเริ่มการทดลอง

อาหารที่ใช้เพื่ออนุบาลลูกปลาไนก่อนเริ่มการทดลองเพื่อให้ปลาได้ตามขนาดที่ต้องการโดยใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปยี่ห้อไฮ-เกรด ของบริษัทเอส ดับบลิว ที เบอร์ 9961 ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการ คือ โปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์ โดยให้วันละ 2 ครั้ง คือ 9.00 น. และ 16.00 น.

2.2 อุปกรณ์

2.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเลี้ยงปลาทดลอง

2.2.1.1 ตู้กระจกขนาด 45X90X45 เซนติเมตร จำนวน 24 ตู้ มีความจุ 183 ลิตร โดยปิดตู้ด้วยแผ่นพลาสติกสีทึบทั้งสามด้าน เพื่อป้องกันการถูกรบกวนจากภายนอก

2.2.1.2 อุปกรณ์ให้อากาศและเปลี่ยนถ่ายน้ำ ได้แก่ เครื่องให้อากาศ สายยาง และหัวทราย

2.2.1.3 อุปกรณ์ขนย้ายปลา ได้แก่ สวิงช้อนปลา ขันพลาสติก ถังพลาสติก

2.2.2 อุปกรณ์เตรียมอาหารทดลอง

2.2.2.1 เครื่องมือเตรียมอาหารทดลอง ได้แก่ เครื่องผสมวัตถุดิบอาหารและอัดเม็ดอาหารยี่ห้อ Hobart Model A 200 T

2.2.2.2 เครื่องบดวัตถุดิบอาหาร rotor beater mill (RETSCH รุ่น SK100 comfort rostfrei) และตะแกรงร่อนขนาดตา 30 เมช (mesh)

2.2.2.3 อุปกรณ์ชั่งตวงวัสดุอาหาร ได้แก่ เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (METTLER TOLEDO รุ่น PB3002) เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง (METTLER TOLEDO รุ่น PB303-S) กระบอกตวง บีกเกอร์ ถาดเตรียมอาหาร

2.2.2.4 ตู้แช่แข็ง เพื่อเก็บรักษาอาหารทดลอง

2.2.3 อุปกรณ์วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองและตัวปลา

2.2.3.1 อุปกรณ์วิเคราะห์ความชื้น ได้แก่ ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (crucible) ตู้อบ (hot air oven) ของบริษัท Memmert โถดูดความชื้น (desiccator) เครื่องชั่งไฟฟ้า 3 ตำแหน่ง (METTLER TOLEDO รุ่น PB303-S)

2.2.3.2 อุปกรณ์วิเคราะห์โปรตีน ได้แก่ เครื่องย่อย (digestion apparatus) ของ Gerhardt รุ่น Kjeldatherm เครื่องกลั่น (distillation apparatus) ของ Gerhardt รุ่น Vapodest I หลอดย่อยโปรตีน (digestion tube) กระบอกตวง บีกเกอร์ บิวเรต และขวดรูปชมพู่ และกระดาษชั่งตัวอย่างปราศจากไนโตรเจน

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

2.2.3.4 อุปกรณ์วิเคราะห์ไขมัน ได้แก่ ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ไขมัน รุ่น Soxtec System HT6 ไส้กรองสาร ถ้วยสกัดสาร ตู้อบ โถดูดความชื้น เครื่องชั่งไฟฟ้า 3 ตำแหน่ง

2.2.3.5 อุปกรณ์วิเคราะห์ฟอสฟอรัส ได้แก่ เครื่องชั่งไฟฟ้า 3 ตำแหน่ง แผ่นให้ความร้อน (hot plate) (0-300 องศาเซลเซียส) ปิเปต ลูกยาง กระบอกตวง ขวดรูปชมพู่ บีกเกอร์ ขวดปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตร ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ของ Shimadzu รุ่น UV 1201V

2.2.4 อุปกรณ์วิเคราะห์โครมิคออกไซด์ในอาหารและมูลปลาทดลอง

2.2.4.1 อุปกรณ์เก็บมูลปลา ประกอบด้วย สายยางเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร และถุงผ้าบาง ขนาดช่องตา 50 ไมครอน

2.2.4.2 อุปกรณ์วิเคราะห์โครมิคออกไซด์ ได้แก่ ตู้อบ โถดูดความชื้น โกร่งบดตัวอย่าง เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง แผ่นให้ความร้อน (0-300 องศาเซลเซียส) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ขวดรูปชมพู่ ขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร

2.2.5 อุปกรณ์วิเคราะห์พีเอชในอาหารและในระบบทางเดินอาหารของปลา

2.2.5.1 อุปกรณ์วัดค่าพีเอช คือ เครื่อง pH meter ของ Mettler Delta รุ่น 340 เครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง หลอดแก้ว ไมโครปิเปต

2.2.5.2 ชุดอุปกรณ์ผ่าตัดปลา คือ กรรไกร มีดผ่าตัด

2.2.6 อุปกรณ์สำหรับตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา

ประกอบด้วย เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Satorius รุ่น B 3100 S ขันพลาสติก กะละมัง และสวิงช้อนปลา

2.3 วิธีการทดลอง

การศึกษานี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของกรดอินทรีย์แต่ละชนิด ได้แก่ กรดซิตริก กรดฟอร์มิก กรดแลกติก และกรดทาร์ทาริก (tartaric acid) โดยเสริมกรดอินทรีย์แต่ละชนิดลงในอาหาร 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติของความเป็นกรดและคุณสมบัติในการจับกับแร่ธาตุต่าง ๆ ของกรดอินทรีย์แต่ละชนิด โดยการศึกษาครั้งนี้ กรดแลกติกจะมีความเป็นกรดต่ำที่สุด รองลงมา คือ กรดฟอร์มิก กรดซิตริก และกรดทาร์ทาริก ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ส่วนคุณสมบัติของความสามารถในการเกาะจับกับแร่ธาตุ พบว่า กรดซิตริกสามารถเกาะจับกับแร่ธาตุต่าง ๆ และมีความเสถียรมากที่สุด รองลงมา คือ กรดทาร์ทาริก กรดแลกติก และกรดทาร์ทาริก (ตารางที่ 3) โดยพิจารณาผลของกรดอินทรีย์แต่ละชนิดต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ได้แก่ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (ANPU) อัตราการรอด พีเอชในระบบทางเดินอาหาร การสะสมฟอสฟอรัสในตัวปลา การขับทิ้งฟอสฟอรัส และประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส จากผลการทดลอง พบว่า กรดซิตริกมีแนวโน้มช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสได้ดีที่สุด โดยพิจารณาจากเถ้าและฟอสฟอรัสในตัวปลา ประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส และการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายที่เพิ่มสูงขึ้น และฟอสฟอรัสในมูลที่ลดต่ำลง ซึ่งอาจเกิดจากกรดซิตริกมีความสามารถในการจับกับแร่ธาตุต่าง ๆ ดีกว่ากรดอินทรีย์ชนิดอื่น

การทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาต่อเนื่องจากการทดลองที่ 1 โดยเลือกกรดอินทรีย์ที่ดีที่สุด ซึ่งพิจารณาจากประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส การทดลองที่ 2 จะมีโมโนโซเดียมฟอสเฟต

ในอาหาร 3 ระดับ คือ 0.37, 0.75 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 3 ระดับ คือ 0, 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ได้แก่ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ อัตราการรอดตาย พีเอชในระบบทางเดินอาหาร การสะสมฟอสฟอรัสในตัวปลา และการขับทิ้งฟอสฟอรัส

2.3.1 การทดลองที่ 1 ผลของกรดอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของปลาไน

2.3.1.1 การเตรียมอุปกรณ์ทดลอง

ใช้ตู้กระจกขนาด 45X90X45 เซนติเมตร ทำความสะอาด ติดตั้งอุปกรณ์ให้อากาศ และเติมน้ำที่ปราศจากคลอรีนปริมาตร 121 ลิตร และป้องกันปลาถูกรบกวนจากภายนอกในระหว่างการทดลองโดยปิดตู้กระจกด้วยพลาสติกสีทึบทั้งสามด้าน และใช้ฝาปิดตู้เพื่อป้องกันการกระโดดของปลา

2.3.1.2 การเตรียมปลาทดลอง

นำลูกปลาไนจำนวน 4,000 ตัว อนุบาลในบ่อคอนกรีตขนาด 6 ตัน และเติมฟอร์มาลีน 10 ppm เพื่อฆ่าปรสิตหรือแบคทีเรียที่ติดมากับปลา และเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวันเมื่อมีการเติมฟอร์มาลีน เป็นเวลา 3 วัน หลังจากนั้นจึงนำลูกปลามาตรวจสอบโรค และเมื่อปราศจากเชื้อจึงอนุบาลต่อไปโดยใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปยี่ห้อไฮ-เกรด วันละสองครั้ง คือ 9.00 น. และ 16.00 น.

2.3.1.3 การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารทดลองมีทั้งหมด 6 สูตร แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ไม่เสริมกรดอินทรีย์ (สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2) และกลุ่มที่เสริมกรดอินทรีย์ 1 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3-6) โดย สูตรที่ 1 เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ (เป็นสูตรอาหารที่ได้รับฟอสฟอรัสที่เพียงพอและปลาเจริญเติบโตดี) สูตรที่ 2 เป็นสูตรอาหารที่มีฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของปลาไน สูตรที่ 3-6 คือ สูตรอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยกรดที่ใช้ คือ กรดซิตริก กรดฟอร์มิก กรดแลกติก และกรดทาร์ทาริก ตามลำดับ โดยสูตรที่เสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตและกรดอินทรีย์จะลดปริมาณมันสำปะหลังป่นลงตามระดับที่เสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตและกรดอินทรีย์ลงไป (ตารางที่ 7) และแต่ละสูตรมีส่วนประกอบของวัตถุดิบที่เหมือนกันได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง ปลายข้าว รำละเอียด มันสำปะหลังป่น น้ำมันปลา น้ำมันถั่วเหลือง โคลีนคลอไรด์ วิตามินผสม

และแร่ธาตุผสม (แร่ธาตุผสมจะไม่มีฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบ) โดยมีองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารต่าง ๆ ดังตารางที่ 6 จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารแต่ละสูตร พบว่า อาหารทุกสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน เช่น มีโปรตีนประมาณ 37 เปอร์เซ็นต์ ไขมันประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ แต่มีเฉพาะฟอสฟอรัสที่พบว่าอาหารสูตรที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีฟอสฟอรัสสูงที่สุดประมาณ คือ 1.29 เปอร์ซ็นต์ ส่วนสูตรอาหารอื่น ๆ จะมีฟอสฟอรัสรวมประมาณ 0.8 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 8)

ขั้นตอนในการเตรียมอาหารทดลอง

1. นำวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและสร้างสูตรอาหาร โดยคำนวณให้มีระดับโปรตีนและไขมันเท่ากันทุกสูตร คือ โปรตีน 37 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 7 เปอร์เซ็นต์ วัตถุดิบอาหารมีดังนี้ ปลาป่น กากถั่วเหลือง แป้งข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง น้ำมันปลาและน้ำมันถั่วเหลืองในสัดส่วน 1 ต่อ 1 วิตามินรวม แร่ธาตุผสม โมโนโซเดียมฟอสเฟต และกรดอินทรีย์

2. ร่อนวัตถุดิบอาหารโดยใช้ตะแกรงขนาด 30 เมช จากนั้นชั่งวัตถุดิบอาหารแยกใส่ถุงไว้สำหรับนำไปทำขั้นตอนต่อไป

3. นำวัตถุดิบอาหารที่เตรียมไว้ ผสมและคลุกเคล้าให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมอาหารประมาณ 15 นาที โดยช่วง 5 นาทีแรกเติมน้ำมันปลาและน้ำมันพืชลงไป หลังจากนั้นเติมน้ำประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ สำหรับกรดอินทรีย์จะละลายไปพร้อมกับน้ำที่เติม

4. นำวัตถุดิบที่คลุกเคล้าเข้ากันดีแล้วเข้าเครื่องอัดเม็ดอาหารผ่านหน้าแว่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร โดยอัดเม็ดให้อาหารมีขนาดใกล้เคียงกัน

5. อบอาหารไว้ที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

6. เก็บอาหารที่ผ่านการอบแล้วบรรจุใส่ถุงพลาสติก เก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (วุฒิพร, 2541)

7. นำอาหารไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ คือ ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน และฟอสฟอรัส ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก, nitrogen free extract, NFE) คำนวณโดยใช้สูตร

100 - (% ความชื้น + % โปรตีน + % ไขมัน+ % เถ้า+ % เยื่อใย)

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารของการทดลองที่ 1 (% as fed basis)[1]

วัตถุดิบ	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใย	ฟอสฟอรัส	NFE
ปลาป่น	10.06±0.05	64.45±0.51	12.48±0.25	11.22±0.24	-	1.99±0.11	1.79±0.15
กากถั่วเหลือง	9.68±0.89	49.69±0.74	2.07±0.12	4.90±0.21	5.90±0.28	0.74±0.02	27.76±0.34
ปลายข้าว	8.17±0.38	8.28±0.53	1.07±0.11	6.78±0.31	2.43±0.43	0.07±0.01	73.27±0.17
รำละเอียด	6.50±0.22	15.95±0.68	15.63±0.50	7.24±0.24	6.95±0.19	2.21±0.06	52.27±0.13
มันสำปะหลังป่น	7.15±0.18	2.03±0.16	0.25±0.02	1.17±0.21	3.44±0.11	0.12±0.01	85.96±0.19

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

ตารางที่ 7 ส่วนประกอบและปริมาณของวัตถุดิบในอาหารทดลองของการทดลองที่ 1

วัตถุดิบ (กรัมต่ออาหาร 100 กรัม)	สูตรอาหาร					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
ปลาป่น	17	17	17	17	17	17
กากถั่วเหลือง	48	48	48	48	48	48
ปลายข้าว	5	5	5	5	5	5
รำละเอียด	10	10	10	10	10	10
มันสำปะหลังป่น	11.6	13.1	12.1	12.1	12.1	12.1
น้ำมันปลาและน้ำมันถั่วเหลือง (1:1)	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
โคลีนคลอไรด์ (60 เปอร์เซ็นต์)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
วิตามินผสม[1]	1	1	1	1	1	1
แร่ธาตุผสม (ไม่มีฟอสฟอรัส)[2]	3	3	3	3	3	3
โมโนโซเดียมฟอสเฟต[3]	1.5	0	0	0	0	0
กรดซิตริก	0	0	1	0	0	0
กรดฟอร์มิก	0	0	0	1	0	0
กรดแลกติก	0	0	0	0	1	0
กรดทาร์ทาริก	0	0	0	0	0	1

[1]วิตามินผสม, DSM Nutritional Product, สมุทรปราการ, ประเทศไทย (กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร): Thiamine (B1) 1; Riboflavin (B2) 2; Pyridoxine (B6) 1; Cobalamin (B12) 0.005; Retinal (A) 400,000 IU; Cholecalciferol (D3) 200,000 IU; Menadione sodium bisulfite (K3) 8; Folic acid 0.5; Calcium pantothenate 4; Inositol 40; Niacin 15; Tocopherol (E) 15; Ascorbic acid (C) 50; Biotin 0.1

[2]แร่ธาตุผสม, DSM Nutritional Product, สมุทรปราการ, ประเทศไทย (กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร): Na 3.278; Mg 25.25; K 76.612; Ca 49.096; Fe 4.821; Zn 0.667; Mn 0.433; Cu 0.069; Co 0.002; I 0.015

[3]Monobasic sodium phosphate, Ajax Finechem Pty Ltd, Australia

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองที่ 1 (% as fed basis)[1]

สูตรอาหาร	สูตรอาหาร	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใย	ฟอสฟอรัส	NFE
T1 (AvP 0.64)	โมโนโซเดียมฟอสเฟต	7.06±0.06	37.34±0.73	7.33±0.03	12.36±0.18	3.52±0.34	1.29±0.01	32.39±0.39
T2 (AvP 0.31)	สูตรพื้นฐาน	7.31±0.16	37.27±0.24	7.09±0.24	11.31±0.19	3.89±0.23	0.84±0.01	33.13±0.22
T3 (AvP 0.31)	กรดซิตริก	7.20±0.04	37.14±0.28	7.21±0.06	11.31±0.08	3.41±0.35	0.81±0.03	33.73±0.34
T4 (AvP 0.31)	กรดฟอร์มิก	7.57±0.17	37.01±0.18	7.45±0.86	11.45±0.08	3.62±0.53	0.86±0.03	32.90±0.46
T5 (AvP 0.31)	กรดแลกติก	7.83±0.05	37.13±0.34	7.12±0.15	11.13±0.07	3.43±0.41	0.87±0.01	33.36±0.11
T6 (AvP 0.31)	กรดทาร์ทาริก	7.41±0.14	37.38±0.46	7.13±0.44	11.16±0.16	3.55±0.15	0.83±0.04	33.37±0.29

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

2.3.1.4 แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design : CRD) โดยศึกษาผลของกรดอินทรีย์ 4 ชนิด ซึ่งจัดให้มีชุดควบคุม 2 ชุด คือ ชุดควบคุมเชิงบวก (positive control) จะเป็นชุดที่เสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตให้เพียงพอต่อความต้องการ (โมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์) และชุดควบคุมเชิงลบ (negative control) เป็นชุดพื้นฐาน (ไม่เสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตและกรดอินทรีย์) รวมชุดการทดลองทั้งหมด 6 ชุดการทดลอง โดยจัดให้ชุดการทดลองละ 4 ซ้ำ มีหน่วยการทดลองทั้งหมด 24 หน่วย และทำการสุ่มหน่วยการทดลองโดยวิธีการจับฉลาก เริ่มต้นการทดลองโดยคัดปลาที่มีขนาดใกล้เคียงกันโดยมีน้ำหนักประมาณ 5 กรัม ชั่งน้ำหนักและบันทึกข้อมูลของปลาเริ่มต้นการทดลอง โดยปล่อยปลาในตู้ทดลอง ตู้ละ 30 ตัว และเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ในระหว่างการเลี้ยงจะให้อาหารวันละ 2 ครั้ง คือ ช่วงเช้า 9.00 น.-11.00 น. และช่วงเย็นเวลา 16.00 น.-18.00 น. โดยให้ปลากินทุก ๆ 30 นาที ตลอด 2 ชั่วโมง จนปลาอิ่ม บันทึกน้ำหนักอาหารที่ปลากินทุกสัปดาห์ตลอดการทดลอง ในช่วงเย็นก่อนให้อาหารจะเปลี่ยนถ่ายน้ำและดูดตะกอนของเสียออกด้วยวิธีกาลักน้ำทุกวัน แล้วเติมน้ำจนถึงระดับเดิมทุกครั้ง และจะชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกน้ำหนักปลาทดลองในแต่ละตู้ทุก ๆ 2 สัปดาห์ตลอดการทดลอง

2.3.1.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การตรวจสอบพฤติกรรมและลักษณะภายนอก

ระหว่างการทดลองสังเกตลักษณะภายนอกและพฤติกรรมต่าง ๆ ของปลา เช่น การว่ายน้ำ การกินอาหาร สีของตัวปลา การตกเลือด การเกิดบาดแผลบริเวณครีบ ผิวหนัง และอวัยวะภายนอกอื่น ๆ และใช้ยาหรือสารเคมีเพื่อป้องกันโรคตามสภาพและอาการของปลา

การตรวจสอบพีเอชในอาหารและในลำไส้

การตรวจสอบพีเอชในอาหารทำได้โดยนำอาหารแต่ละสูตรมาบด หลังจากนั้นนำอาหารที่บด 1 กรัม ละลายในน้ำที่ไม่มีไอออนปริมาตร 10 มิลลิลิตร (Pandey and Satoh, 2008) และวัดค่าพีเอชโดยใช้พีเอชมิเตอร์ สำหรับการวัดค่าพีเอชในลำไส้จะทำหลังจากการให้อาหารไปแล้ว 2 ชั่วโมง โดยสุ่มปลาชุดการทดลองละ 8 ตัว และนำอาหารที่อยู่ในลำไส้โดยวิธีการรีดมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง ละลายในน้ำที่ไม่มีไอออนสัดส่วน 1:10 และวัดค่าพีเอชโดยใช้พีเอชมิเตอร์ (Baruah *et al.*, 2005)

การตรวจสอบการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของปลา

ชั่งน้ำหนักปลาแต่ละชุดการทดลองทุก 2 สัปดาห์ เพื่อหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ก่อนชั่งน้ำหนักงดให้อาหารเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และก่อนชั่งปลาจะสลบปลาด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น 50 ppm (Lewbart, 2011) นับจำนวนปลาที่เหลือตลอดจนจบการทดลองเพื่อคำนวณอัตราการรอดของแต่ละชุดการทดลอง คำนวณหาการเจริญเติบโต น้ำหนักปลาที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการกินอาหาร และอัตราการรอดตาย ดังนี้

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Percent weight gain; WG) คำนวณตามวิธีของ Bureau และคณะ (2002)

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

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate; SGR)

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

เปอร์เซ็นต์การรอดตาย (% Survival rate)

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

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion rate; FCR) คำนวณตามวิธีของ Dupree และ Sneed (1966)

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

อัตราการกินอาหาร (Rate of feed intake) คำนวณตามวิธีของ Yone และ Fujii (1975)

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

โดยที่

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

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของปลา

ก่อนเริ่มการทดลองสุ่มตัวอย่างปลาจำนวน 9 ตัว เพื่อนำไปวิเคราะห์ความชื้นในทันที และนำตัวอย่างปลาไปวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า ตามวิธีการของ AOAC (1990) เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปลาเช่นเดียวกับก่อนการทดลอง โดยจะเก็บตัวอย่างปลา จำนวน 3 ตัว ต่อตู้ การวิเคราะห์จะนำไปวิเคราะห์ความชื้นในร่างกายทันที หลังจากนั้นนำมาบดให้ละเอียดและเก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปลา และนำค่าโปรตีนที่ได้ไปคำนวณประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio; PER) ตามวิธีการของ Hardy และ Barrows (2002)

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio; PER)

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

การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (apparent net protein utilization; ANPU) **(เปอร์เซ็นต์)** ตามวิธีการของ Robinson และ Wilson (1985)

$$= \frac{\text{(\% โปรตีนในตัวปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - \% โปรตีนในตัวปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนจากอาหารที่ปลากิน (กรัม)}} \times 100$$

การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัส

การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในตัวปลา โดยนำตัวอย่างปลาที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลามาวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในตัวปลาตามวิธีการของ AOAC (1990) และนำไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการสะสมฟอสฟอรัส

การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย (Phosphorus retention efficiency) คำนวณตาม Storebakken และคณะ 1998

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

โดยที่

FICP = ปริมาณของฟอสฟอรัสที่คงเหลือในซากหลังการทดลอง (กรัม)

INCP = ปริมาณของฟอสฟอรัสที่คงเหลือในซากก่อนการทดลอง (กรัม)

Phosphorus intake = ปริมาณของฟอสฟอรัสที่ใช้ได้ทั้งหมด (กรัม)

การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในกระดูก เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มปลาตู้ละ 5 ตัว และนำตัวปลาแต่ละตัวไปห่อด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์และนำไปนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันเป็นเวลา 30 นาที และแยกเอาเฉพาะกระดูกสันหลังนำไปแช่ไว้ในเอทานอลเป็นเวลา 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นนำกระดูกที่ได้ทิ้งไว้ให้แห้งและนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง (Pandey and Satoh, 2008) หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส เพื่อหาปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในกระดูก ตามวิธีการของ AOAC (1990)

ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง (Phosphorus load) คำนวณตาม Vielma และคณะ (2002)

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

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อย

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยทำได้โดยการใช้สารบ่งชี้โครมิกออกไซด์ (Cr_2O_3) เติมลงในอาหาร 0.5 เปอร์เซ็นต์ และเก็บมูลปลาโดยหลังจากให้อาหารช่วงเย็นเสร็จเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำความสะอาดตู้ด้วยวิธีกาลักน้ำ (siphoning) รวมถึงดูดเศษอาหารและมูลปลาที่ตกค้าง หลังจากนั้นทิ้งระยะเวลา 1-2 ชั่วโมง จึงเก็บมูลปลาตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก Boonyaratpalin และ Phromkunthong (2000) โดยใช้ถุงกรองตาละเอียดรองรับน้ำจากปลายสายยางรวบรวมมูลนำไปเก็บไว้ในช่องแช่แข็ง (freezer) และอบมูลปลาให้แห้งด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นำไปบดให้ละเอียดเพื่อนำไปวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในมูล ตามวิธีการของ AOAC (1990) และวิเคราะห์ปริมาณโครมิกออกไซด์ในอาหารและมูลตามวิธีของ Furukawa และ Tsukahara (1966) หลังจากนั้นคำนวณหาประสิทธิภาพการย่อยโดยสมการ

ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้ง (Dry matter digestibility or total digestibility) **(เปอร์เซ็นต์)**

$$= \quad 100 - 100 \quad \frac{(\%\ \text{มาร์กเกอร์ในอาหาร})}{(\%\ \text{มาร์กเกอร์ในมูล})}$$

ประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส (Apparent digestibility coefficient of phosphorus) **(เปอร์เซ็นต์)**

$$= \quad 100 - 100 \quad \frac{(\%\ \text{มาร์กเกอร์ในอาหาร} \times \%\ \text{ฟอสฟอรัสในมูล})}{(\%\ \text{มาร์กเกอร์ในมูล} \times \%\ \text{ฟอสฟอรัสในอาหาร})}$$

การวิเคราะห์ต้นทุนค่าผลิตอาหารและต้นทุนค่าผลิตปลา

คำนวณต้นทุนค่าอาหาร[1]และต้นทุนค่าผลิตปลา ตามวิธีการของ Chimsung และคณะ (2005) จากสมการต้นทุนค่าผลิตปลา

$$= \quad \frac{\text{ต้นทุนค่าอาหาร (บาท/กิโลกรัม)} - \text{ปริมาณอาหารที่ปลากินทั้งหมด (กิโลกรัม)}}{\text{น้ำหนักรวมปลาที่ผลิตได้ที่ (กิโลกรัม)}}$$

ต้นทุนค่าอาหารคำนวณจากราคาวัตถุดิบแต่ละชนิดต่อกิโลกรัมอาหาร

2.3.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA แบบจำแนกทางเดียว (One way Analysis of Variances) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's multiple range test (Duncan, 1955) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (version 11.0)

2.3.2 การทดลองที่ 2 ระดับของกรดอินทรีย์และอนินทรีย์ฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของปลาไน

2.3.2.1 การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

ดำเนินการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 (ข้อ 2.3.1.1) แต่ใช้ตู้กระจกขนาด 45X45X60 เซนติเมตร และเติมน้ำที่ปราศจากคลอรีนปริมาตร 80 ลิตร

2.3.2.2 การเตรียมปลาทดลอง

ดำเนินการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 (ข้อ 2.3.1.2) แต่อนุบาลปลาให้ได้น้ำหนักประมาณ 2-3 กรัม แล้วจึงเริ่มนำไปทดลอง

2.3.2.3 การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารทดลองมีทั้งหมด 9 สูตร โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ไม่ได้รับกรดอินทรีย์ กลุ่มที่ได้รับกรดอินทรีย์ 0.1 และกลุ่มที่ได้รับกรดอินทรีย์ 0.25 โดยในแต่ละกลุ่มจะมี 3 สูตร คือ ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5, 0.75 และ 0.37 เปอร์เซ็นต์ โดยแต่ละสูตรมีส่วนประกอบของวัตถุดิบที่เหมือนกันได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง ปลายข้าว รำละเอียด แป้งมันสำปะหลัง น้ำมันปลา น้ำมันถั่วเหลือง โคลีนคลอไรด์ วิตามินผสม และแร่ธาตุผสม (ยกเว้นฟอสฟอรัส) (ตารางที่ 9) แต่ละสูตรจะลดปริมาณมันสำปะหลังป่นลงตามระดับที่เสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตและกรดอินทรีย์ลงไป (ตารางที่ 10) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารแต่ละสูตร พบว่าอาหารทุกสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน เช่น มีโปรตีนประมาณ 37 เปอร์เซ็นต์ ไขมันประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ แต่มีเฉพาะฟอสฟอรัสรวมในอาหารที่พบว่าอาหารสูตรที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีฟอสฟอรัสรวมสูงที่สุดประมาณ 1.40 เปอร์ซ็นต์ อาหารสูตรที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ มีฟอสฟอรัสรวมประมาณ 1.25 เปอร์เซ็นต์ และอาหารสูตรที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ มีฟอสฟอรัสรวมประมาณ 1.19 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 11) ส่วนขั้นตอนการเตรียมอาหารจะเหมือนกับการทดลองที่ 1 (ข้อ 2.3.1.3)

2.3.2.4 แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบแฟกตอเรียล (Factorial design) โดยศึกษาระดับของกรดอินทรีย์ต่อระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟต โดยกรดซิตริกจะมี 3 ระดับ คือ 0, 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ โมโนโซเดียมฟอสเฟตมี 3 ระดับ คือ 1.5, 0.75 และ 0.37 เปอร์เซ็นต์ รวมชุดการทดลอง

ทั้งหมด 9 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ มีหน่วยการทดลองทั้งหมด 27 หน่วย และทำการสุ่มหน่วยการทดลองโดยวิธีการจับฉลาก เริ่มต้นการทดลองโดยคัดปลาที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ประมาณ 3 กรัม ชั่งน้ำหนักและบันทึกข้อมูลของปลาเริ่มต้นการทดลอง โดยปล่อยปลาในตู้ทดลอง ตู้ละ 20 ตัว และเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ในระหว่างการเลี้ยงจะให้อาหารวันละ 2 ครั้ง คือ ช่วงเช้า 9.00 น.-11.00 น. และช่วงเย็นเวลา 16.00 น.-18.00 น. โดยจะค่อย ๆ ให้อาหารจนปลากินจนอิ่ม บันทึกน้ำหนักอาหารที่ปลากินทุกสัปดาห์ตลอดการทดลอง ในช่วงเย็นก่อนให้อาหารจะเปลี่ยนถ่ายน้ำและดูดตะกอนของเสียออกด้วยวิธีกาลักน้ำทุกวัน แล้วเติมน้ำจนถึงระดับเดิมทุกครั้ง และจะชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักปลาทดลองในแต่ละตู้ทุก ๆ 2 สัปดาห์ตลอดการทดลอง

2.3.2.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ดำเนินการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 (ข้อ 2.3.2.5) แต่ไม่ศึกษาประสิทธิภาพการย่อย

2.3.2.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA แบบจำแนกสองทาง (two way Analysis of Variances) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's multiple range test (Duncan, 1995) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (version 11.0)

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารของการทดลองที่ 2 (% as fed basis)[1]

วัตถุดิบ	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใย	ฟอสฟอรัส	NFE
ปลาป่น	8.06±0.08	58.36±0.58	11.72±0.74	12.45±0.16	-	2.17±0.12	9.41±0.27
กากถั่วเหลือง	8.46±0.13	49.95±0.39	2.68±0.50	5.21±0.42	5.30±0.16	0.58±0.04	28.40±0.11
ปลายข้าว	5.16±0.22	7.78±0.14	2.60±0.35	3.25±0.25	2.55±0.21	0.2±0.04	78.66±0.15
รำละเอียด	7.20±0.29	13.02±0.40	16.93±0.94	9.57±0.19	5.77±0.22	1.53±0.08	47.51±0.12
มันสำปะหลังป่น	8.24±0.14	2.71±0.18	0.83±0.02	1.59±0.34	3.11±0.05	0.12±0.05	83.52±0.19

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

ตารางที่ 10 ส่วนประกอบและปริมาณของวัตถุดิบในอาหารทดลองของการทดลองที่ 2

วัตถุดิบ (กรัมต่ออาหาร 100 กรัม)	สูตรอาหาร								
	T1 AvP 0.46	T2 AvP 0.46	T3 AvP 0.46	T4 AvP 0.54	T5 AvP 0.54	T6 AvP 0.54	T7 AvP 0.70	T8 AvP 0.70	T9 AvP 0.70
ปลาป่น	17	17	17	17	17	17	17	17	17
กากถั่วเหลือง	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5
ปลายข้าว	6	6	6	6	6	6	6	6	6
รำละเอียด	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
แป้งมันสำปะหลัง	12.73	12.63	12.48	12.35	12.25	12.1	11.6	11.5	11.35
น้ำมันปลาและน้ำมันถั่วเหลือง (1:1)	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
โคลีนคลอไรด์ (60 เปอร์เซ็นต์)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
วิตามินผสม[1]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
แร่ธาตุผสม (ไม่มีฟอสฟอรัส)[2]	3	3	3	3	3	3	3	3	3
โมโนโซเดียมฟอสเฟต[3]	0.37	0.37	0.37	0.75	0.75	0.75	1.5	1.5	1.5
กรดซิตริก	0	0.1	0.25	0	0.1	0.25	0	0.1	0.25

[1]

วิตามินผสม, DSM Nutritional Product, สมุทรปราการ, ประเทศไทย (กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร): Thiamine (B1) 1; Riboflavin (B2) 2; Pyridoxine (B6) 1; Cobalamin (B12) 0.005; Retinal (A) 400,000 IU; Cholecalciferol (D3) 200,000 IU; Menadione sodium bisulfite (K3) 8; Folic acid 0.5; Calcium pantothenate 4; Inositol 40; Niacin 15; Tocopherol (E) 15; Ascorbic acid (C) 50; Biotin 0.1 [2]แร่ธาตุผสม, DSM Nutritional Product, สมุทรปราการ, ประเทศไทย (กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร): Na 3.278; Mg 25.25; K 76.612; Ca 49.096; Fe 4.821; Zn 0.667; Mn 0.433; Cu 0.069; Co 0.002; I 0.015 [3]Monobasic sodium phosphate, Ajax Finechem Pty Ltd, Australi

ตารางที่ 11 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองของการทดลองที่ 2 (% as fed basis)[1]

สูตรอาหาร	สูตรอาหาร	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใย	ฟอสฟอรัส	NFE
T1	0.37% MSP+CA 0 %	4.30±0.20	37.24±0.18	7.28±0.06	11.30±0.68	3.51±0.28	1.19±0.01	36.37±0.26
T2	0.37% MSP+CA 0.10 %	4.01±0.38	37.15±0.32	7.36±0.19	11.78±0.56	3.62±0.43	1.19±0.01	36.08±0.55
T3	0.37% MSP+CA 0.25 %	4.98±0.53	37.19±0.04	7.16±0.20	11.59±0.52	3.52±0.51	1.17±0.01	35.56±0.37
T4	0.75 % MSP+CA 0 %	4.34±0.22	37.12±0.10	7.25±0.24	11.89±0.50	3.42±0.53	1.25±0.02	35.88±0.14
T5	0.75 % MSP+CA 0.10 %	4.24±0.19	37.21±0.16	7.24±0.13	11.92±0.40	3.44±0.28	1.24±0.02	35.95±0.32
T6	0.75 % MSP+CA 0.25 %	4.90±0.73	37.20±0.17	7.37±0.10	11.83±0.61	3.43±0.39	1.25±0.01	35.27±0.34
T7	1.5 % MSP+CA 0 %	4.26±0.08	37.15±0.20	7.26±0.05	12.28±0.49	3.32±0.34	1.44±0.04	35.73±0.49
T8	1.5 % MSP+CA 0.10 %	4.35±0.86	37.06±0.56	7.29±0.06	12.28±0.36	3.40±0.25	1.42±0.03	35.62±0.13
T9	1.5 % MSP+ CA 0.25 %	4.42±0.24	37.14±0.32	7.26±0.12	12.10±0.37	3.33±0.12	1.39±0.02	35.54±0.54

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

บทที่ 3

ผลการทดลอง

3.1 การทดลองที่ 1 ผลของกรดอินทรีย์แต่ละชนิดต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของปลาไน

3.1.1 ความผิดปกติและพฤติกรรมของปลาไนที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ

จากการสังเกตุพฤติกรรมและความผิดปกติของปลาที่ได้รับอาหารทดลองตลอดการทดลอง ไม่พบความผิดปกติของรูปร่างลักษณะภายนอก ไม่มีการแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสให้เห็น และการกินอาหารเป็นปกติตลอดการทดลอง

3.1.2 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว

การทดลองที่ 1 ใช้ปลาไนที่มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเริ่มต้นอยู่ในช่วง 4.82- 4.87 กรัม เมื่อเลี้ยงเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าปลามีน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้น ดังตารางที่ 12 และมีความแตกต่างกันตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 โดยปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (29.03±0.76 กรัม) (p<0.05) เมื่อพิจารณาปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์และสูตรพื้นฐาน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรพื้นฐาน, เสริมกรดซิตริก, เสริมกรดฟอร์มิก, และเสริมกรดแลกติก มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวไม่แตกต่างกัน คือ 15.47±0.54, 14.56±0.54, 14.75±1.40 และ 15.50±1.03 กรัม ตามลำดับ (p>0.05) สำหรับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดทาร์ทาริก พบว่า มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวต่ำที่สุด คือ 14.44±0.64 กรัม และต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดแลกติกอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ตารางที่ 12 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

ชุดการทดลอง	สูตรอาหาร	น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว (กรัม)				
		น้ำหนักเริ่มต้น	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
T1 (AvP 0.64)	โมโนโซเดียมฟอสเฟต	4.82±0.01	7.91±0.41^{a}	12.67±0.79^{a}	20.82±1.10^{a}	29.03±0.76^{a}
T2 (AvP 0.31)	สูตรพื้นฐาน	4.87±0.08	6.90±0.21^{b}	8.81±0.16^{b}	12.36±0.43^{b}	15.47±0.54^{bc}
T3 (AvP 0.31)	กรดซิตริก	4.83±0.01	6.57±0.17^{b}	8.18±0.14^{b}	11.39±0.19^{b}	14.56±0.54^{bc}
T4 (AvP 0.31)	กรดฟอร์มิก	4.83±0.00	6.66±0.28^{b}	8.44±0.53^{b}	11.51±0.95^{b}	14.75±1.40^{bc}
T5 (AvP 0.31)	กรดแลกติก	4.83±0.00	6.65±0.30^{b}	8.63±0.55^{b}	12.35±1.07^{b}	15.50±1.03^{b}
T6 (AvP 0.31)	กรดทาร์ทาริก	4.83±0.00	6.70±0.33^{b}	8.44±0.46^{b}	11.50±0.79^{b}	14.44±0.64^{c}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 4 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

3.1.3 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอด

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลาไนที่ได้รับอาหารทั้ง 6 สูตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 13 พบว่า เป็นไปในแนวทางเดียวกับน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (501.98±15.99 เปอร์เซ็นต์) (p<0.05) เมื่อพิจารณาปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์และสูตรพื้นฐาน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรพื้นฐาน (218.13±15.70 เปอร์เซ็นต์) มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์ (p>0.05) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดแลกติก (234.80±32.19 เปอร์เซ็นต์) มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดทาร์ทาริกอย่างมีนัยสำคัญ (198.96±13.32 เปอร์เซ็นต์) (p<0.05) แต่ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์สูตรอื่น

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาไนเป็นไปแนวทางเดียวกับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (3.20±0.05 เปอร์เซ็นต์) เมื่อพิจารณาสูตรอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์ และสูตรพื้นฐาน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรพื้นฐานไม่แตกต่างกับสูตรที่ได้รับกรดอินทรีย์ ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดแลกติก (2.15±0.17 เปอร์เซ็นต์) มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดทาร์ทาริก (1.95±0.08 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) แต่ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์สูตรอื่น

อัตราการรอดของปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 6 สูตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าไม่มีการตายเกิดขึ้นระหว่างการทดลอง

ตารางที่ 13 การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

ชุดการทดลอง	สูตรอาหาร	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)
T1 (AvP 0.64)	โมโนโซเดียมฟอสเฟต	501.98±15.99^{a}	3.20±0.05^{a}	100.00±0.00
T2 (AvP 0.31)	สูตรพื้นฐาน	218.13±15.70^{bc}	2.06±0.09^{bc}	100.00±0.00
T3 (AvP 0.31)	กรดซิตริก	201.73±11.42^{bc}	1.97±0.07^{bc}	100.00±0.00
T4 (AvP 0.31)	กรดฟอร์มิก	205.55±29.06^{bc}	1.99±0.17^{bc}	100.00±0.00
T5 (AvP 0.31)	กรดแลกติก	234.80±32.19^{b}	2.15±0.17^{b}	100.00±0.00
T6 (AvP 0.31)	กรดทาร์ทาริก	198.96±13.32^{c}	1.95±0.08^{c}	100.00±0.00

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 4 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

3.1.4 อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ

อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ของปลาไนที่ได้รับอาหารทั้ง 6 สูตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ดังตารางที่ 14 พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดทาร์ทาริก (4.66±0.09 เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน) มีอัตราการกินอาหารสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (4.28±0.12 เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน) และสูตรที่เสริมกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญ (4.48±0.08 เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน) (p<0.05) แต่ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดฟอร์มิก (4.58±0.01 เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน) กรดแลกติก (4.60±0.10 เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน) และสูตรพื้นฐาน (4.63±0.13 เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีค่าต่ำกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (1.31±0.05) (p<0.05) เมื่อพิจารณาปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์และสูตรพื้นฐาน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดแลกติกมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำที่สุด (2.10±0.11) แต่ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดฟอร์มิก (2.23±0.16) และสูตรพื้นฐาน (2.23±0.08) (p>0.05) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดทาร์ทาริกและกรดซิตริก (2.29±0.13 และ 2.29±0.05 ตามลำดับ) มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดฟอร์มิกและสูตรพื้นฐาน (p>0.05)

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลา พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (1.93±0.07) (p<0.05) เมื่อพิจารณาปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์และสูตรพื้นฐานพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (p>0.05)

การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิของปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีค่าสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (34.76±3.26 เปอร์เซ็นต์) (p<0.05) เมื่อพิจารณาสูตรอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์และสูตรพื้นฐาน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดทาร์ทาริก (18.57±1.06 เปอร์เซ็นต์) มีการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดฟอร์มิก (19.55±0.41 เปอร์เซ็นต์) และสูตรพื้นฐาน (20.80±1.96 เปอร์เซ็นต์) (p>0.05) แต่ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก (22.45±1.19 เปอร์เซ็นต์) และกรดแลกติกอย่างมีนัยสำคัญ (23.34±1.19 เปอร์เซ็นต์) (p<0.05)

3.1.5 องค์ประกอบทางเคมีในตัวปลา

ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และฟอสฟอรัสของปลาไนที่ได้รับอาหารทั้ง 6 สูตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 15 พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีความชื้นในตัวปลาสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (70.89±0.78 เปอร์เซ็นต์) (p<0.05) เมื่อพิจารณาปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์และสูตรพื้นฐาน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก (65.08±0.56 เปอร์เซ็นต์) มีความชื้นในตัวปลาไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดฟอร์มิก (63.02±2.11 เปอร์เซ็นต์) กรดทาร์ทาริก (63.39±2.28 เปอร์เซ็นต์) และสูตรพื้นฐาน (63.17±1.16 เปอร์เซ็นต์) (p>0.05) แต่มีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดแลกติกอย่างมีนัยสำคัญ (62.11±0.88 เปอร์เซ็นต์) (p<0.05)

โปรตีนในตัวปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีค่าสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (57.73±2.82 เปอร์เซ็นต์) (p<0.05) เมื่อพิจารณาปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์และสูตรพื้นฐาน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก (51.08±0.78 เปอร์เซ็นต์) มีโปรตีนในตัวสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดฟอร์มิกมีโปรตีนในตัวต่ำที่สุด (46.21±1.51 เปอร์เซ็นต์) แต่ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดทาร์ทาริก (46.43±2.78 เปอร์เซ็นต์) กรดแลกติก (48.23±2.14 เปอร์เซ็นต์) และสูตรพื้นฐาน (46.64±0.65 เปอร์เซ็นต์) (p>0.05)

ไขมันในตัวปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีค่าต่ำกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (24.85±2.81 เปอร์เซ็นต์) (p<0.05) เมื่อพิจารณาปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์และสูตรพื้นฐาน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกมีไขมันในตัวต่ำที่สุด (30.10±1.57 เปอร์เซ็นต์) แต่ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดฟอร์มิก (31.21±3.33 เปอร์เซ็นต์) กรดแลกติก (31.38±3.15 เปอร์เซ็นต์) และกรดทาร์ทาริก (31.87±1.66 เปอร์เซ็นต์) (p>0.05) ปลาที่ได้รับอาหารสูตรพื้นฐานมีไขมันในตัวสูงที่สุด (35.93±2.55 เปอร์เซ็นต์) และแตกต่างกับสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

เถ้าในตัวปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีค่าสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (11.44±0.41 เปอร์เซ็นต์) (p<0.05) เมื่อพิจารณาปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์และสูตรพื้นฐาน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกมีเถ้าในตัวสูงที่สุด (7.68±0.56 เปอร์เซ็นต์) แต่ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดฟอร์มิก (7.58±0.17 เปอร์เซ็นต์) กรดแลกติก (7.31±0.31 เปอร์เซ็นต์) และกรดทาร์ทาริก (7.28±0.28 เปอร์เซ็นต์) (p>0.05) ปลาที่ได้รับ

อาหารสูตรพื้นฐานมีเถ้าในตัวต่ำที่สุด (6.95±0.50 เปอร์เซ็นต์) และแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกและกรดฟอร์มิก อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ฟอสฟอรัสในตัวปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีค่าสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (1.54±0.18 เปอร์เซ็นต์) (p<0.05) เมื่อพิจารณาปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์และสูตรพื้นฐาน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกมีฟอสฟอรัสในตัวสูงที่สุด (1.05±0.04 เปอร์เซ็นต์) และสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดฟอร์มิก (0.93±0.08 เปอร์เซ็นต์) กรดแลกติก (0.92±0.12 เปอร์เซ็นต์) กรดทาร์ทาริก (0.82±0.09 เปอร์เซ็นต์) และสูตรพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญ (0.84±0.08 เปอร์เซ็นต์) (p<0.05)

ตารางที่ 14 ปริมาณอาหารที่กินและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

ชุดการทดลอง	สูตรอาหาร	อัตราการกินอาหาร (เปอร์เซ็นต์/ตัว/วัน)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน	การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (เปอร์เซ็นต์)
T1 (AvP 0.64)	โมโนโซเดียมฟอสเฟต	4.28±0.12^{c}	1.31±0.05^{c}	1.93±0.07^{a}	34.76±3.26^{a}
T2 (AvP 0.31)	สูตรพื้นฐาน	4.63±0.13^{ab}	2.23±0.08^{ab}	1.12±0.10^{b}	20.80±1.96^{bc}
T3 (AvP 0.31)	กรดซิตริก	4.48±0.08^{b}	2.29±0.05^{a}	1.14±0.05^{b}	22.45±1.19^{b}
T4 (AvP 0.31)	กรดฟอร์มิก	4.58±0.01^{ab}	2.23±0.16^{ab}	1.12±0.12^{b}	19.55±0.41^{c}
T5 (AvP 0.31)	กรดแลกติก	4.60±0.10^{ab}	2.10±0.11^{b}	1.20±0.12^{b}	23.34±1.19^{b}
T6 (AvP 0.31)	กรดทาร์ทาริก	4.66±0.09^{a}	2.29±0.13^{a}	1.06±0.05^{b}	18.57±1.06^{c}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 4 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

ตารางที่ 15 องค์ประกอบทางเคมีในตัวปลา (เปอร์เซ็นต์) ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

ชุดการทดลอง	สูตรอาหาร	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ฟอสฟอรัส
ปลาก่อนทดลอง	-	70.32±1.23	57.26±0.47	30.45±1.57	9.40±0.34	1.17±0.01
T1 (AvP 0.64)	โมโนโซเดียมฟอสเฟต	70.89±0.78^{a}	57.73±2.82^{a}	24.85±2.81^{c}	11.44±0.41^{a}	1.54±0.18^{a}
T2 (AvP 0.31)	สูตรพื้นฐาน	63.17±1.16^{bc}	46.64±0.65^{c}	35.93±2.55^{a}	6.95±0.50^{c}	0.84±0.08^{cd}
T3 (AvP 0.31)	กรดซิตริก	65.08±0.56^{b}	51.08±0.78^{b}	30.10±1.57^{b}	7.68±0.56^{b}	1.05±0.04^{b}
T4 (AvP 0.31)	กรดฟอร์มิก	63.02±2.11^{bc}	46.21±1.51^{c}	31.21±3.33^{b}	7.58±0.17^{b}	0.93±0.08^{c}
T5 (AvP 0.31)	กรดแลกติก	62.11±0.88^{c}	48.23±2.14^{c}	31.38±3.15^{b}	7.31±0.31^{bc}	0.92±0.12^{cd}
T6 (AvP 0.31)	กรดทาร์ทาริก	63.39±2.28^{bc}	46.43±2.78^{c}	31.87±1.66^{b}	7.28±0.28^{bc}	0.82±0.09^{d}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 4 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

3.1.6 เถ้าในกระดูก ฟอสฟอรัสในกระดูก และฟอสฟอรัสในมูลของปลา

เถ้าในกระดูก ฟอสฟอรัสในกระดูก และฟอสฟอรัสในมูลของปลาไนที่ได้รับอาหารทั้ง 6 สูตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 16 พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีเถ้าในกระดูกปลาต่ำที่สุด (58.73±1.75 เปอร์เซ็นต์) และแตกต่างกับสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เมื่อพิจารณาปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์และสูตรพื้นฐาน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก (63.44±0.87 เปอร์เซ็นต์) มีเถ้าในกระดูกไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดแลกติก (62.04±2.02 เปอร์เซ็นต์) กรดฟอร์มิก (63.75±1.01 เปอร์เซ็นต์) กรดทาร์ทาริก (64.65±1.84 เปอร์เซ็นต์) และสูตรพื้นฐาน (63.33±0.21 เปอร์เซ็นต์) (p>0.05)

ฟอสฟอรัสในกระดูกปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีค่าสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (10.71±0.21 เปอร์เซ็นต์) (p<0.05) เมื่อพิจารณาปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์และสูตรพื้นฐาน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดแลกติกมีฟอสฟอรัสในกระดูกสูงที่สุด (10.24±0.33 เปอร์เซ็นต์) และไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก (10.13±0.40 เปอร์เซ็นต์) กรดฟอร์มิก (10.14±0.11 เปอร์เซ็นต์) และสูตรพื้นฐาน (10.01±0.23 เปอร์เซ็นต์) (p>0.05) แต่สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดทาร์ทาริก (9.51±0.33 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ฟอสฟอรัสในมูลปลาของปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกมีค่าไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (1.26±0.06 เปอร์เซ็นต์ และ 1.28±0.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) แต่มีค่าต่ำกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปลาที่ได้รับกรดฟอร์มิกมีฟอสฟอรัสในมูลสูงที่สุด (1.42±0.07 เปอร์เซ็นต์)

ตารางที่ 16 เถ้าในกระดูก ฟอสฟอรัสในกระดูก และฟอสฟอรัสในมูลของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

ชุดการทดลอง	สูตรอาหาร	เถ้าในกระดูก (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัสในกระดูก (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัสในมูล (เปอร์เซ็นต์)
T1 (AvP 0.64)	โมโนโซเดียมฟอสเฟต	58.73±1.75^{b}	10.71±0.21^{a}	1.28±0.07^{cd}
T2 (AvP 0.31)	สูตรพื้นฐาน	63.33±0.21^{a}	10.01±0.23^{b}	1.40±0.02^{abc}
T3 (AvP 0.31)	กรดซิตริก	63.44±0.87^{a}	10.13±0.40^{b}	1.26±0.06^{d}
T4 (AvP 0.31)	กรดฟอร์มิก	63.75±1.01^{a}	10.14±0.11^{b}	1.42±0.07^{a}
T5 (AvP 0.31)	กรดแลกติก	62.04±2.02^{a}	10.24±0.33^{b}	1.40±0.02^{ab}
T6 (AvP 0.31)	กรดทาร์ทาริก	64.65±1.84^{a}	9.51±0.33^{c}	1.36±0.02^{abc}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

3.1.7 ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้งและฟอสฟอรัส การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลา

ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้งและฟอสฟอรัส การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลาไนที่ได้รับอาหารทั้ง 6 สูตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 17 พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารแต่ละสูตรมีประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้งไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

ประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสของปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีค่าสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (66.26±0.50 เปอร์เซ็นต์) ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์และสูตรพื้นฐาน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกมีประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสสูงที่สุด (39.46±0.83 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดแลกติก (38.41±1.80 เปอร์เซ็นต์) กรดฟอร์มิก (38.30±1.85 เปอร์เซ็นต์) ($p>0.05$) แต่สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดทาร์ทาริกอย่างมีนัยสำคัญ (36.19±0.79 เปอร์เซ็นต์) ($p<0.05$) ปลาที่ได้รับอาหารสูตรพื้นฐานมีประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสต่ำที่สุดและแตกต่างกับสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (33.09±1.12 เปอร์เซ็นต์) ($p<0.05$)

การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายของปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีค่าสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (31.73±0.57 เปอร์เซ็นต์) ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์และสูตรพื้นฐาน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดแลกติกมีการเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (24.56±0.32 เปอร์เซ็นต์) ($p<0.05$) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก (20.87±0.72) มีการเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรพื้นฐาน (17.84±0.55 เปอร์เซ็นต์) ($p>0.05$) แต่สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดฟอร์มิก (17.86±2.53 เปอร์เซ็นต์) และกรดทาร์ทาริก (16.76±1.00 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีค่าต่ำกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (10.79±0.48 ก.ฟอสฟอรัส ต่อ กก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น) ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์และสูตรพื้นฐาน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารแต่ละสูตรมีฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

3.1.8 **พีเอชในอาหาร และพีเอชในระบบทางเดินอาหารของปลา**

หลังจากสร้างอาหารเพื่อใช้ทดลองทั้ง 6 สูตร และวัดพีเอชในอาหาร พบว่า พีเอชในอาหารสูตรพื้นฐาน (6.50±0.01) และอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (6.37±0.02) มีพีเอชในอาหารสูงกว่าสูตรอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เมื่อพิจารณาสูตรอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์ พบว่า สูตรอาหารที่เสริมกรดแลกติก (6.04±0.02) มีพีเอชสูงกว่าอาหารที่เสริมกรดทาร์ทาริก (5.92±0.01) และกรดซิตริก (5.93±0.02) อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) สูตรอาหารที่เสริมกรดฟอร์มิก (5.64±0.01) มีพีเอชต่ำกว่าอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์สูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) (ตารางที่ 18)

พีเอชในระบบทางเดินอาหารของปลาไนที่ได้รับอาหารทั้ง 6 สูตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 18 พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดฟอร์มิกมีพีเอชในระบบทางเดินอาหาร (7.00±0.16) ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก (6.88±0.13) และกรดทาร์ทาริก (6.95±0.12) (p>0.05) แต่สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดแลกติก (6.68±0.34) โมโนโซเดียมฟอสเฟต (6.67±0.11) และสูตรพื้นฐาน (6.66±0.15) อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ตารางที่ 17 ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้งและฟอสฟอรัส การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

ชุดการทดลอง	สูตรอาหาร	ประสิทธิภาพการย่อย (เปอร์เซ็นต์)		การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง (ก.ฟอสฟอรัส/กก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น)
		วัตถุแห้ง	ฟอสฟอรัส		
T1 (AvP 0.64)	โมโนโซเดียมฟอสเฟต	63.25±2.05^{a}	66.26±0.50^{a}	31.73±0.57^{a}	10.79±0.48^{b}
T2 (AvP 0.31)	สูตรพื้นฐาน	62.16±1.30^{a}	33.09±1.12^{d}	17.84±0.55^{cd}	14.14±1.74^{a}
T3 (AvP 0.31)	กรดซิตริก	62.38±1.65^{a}	39.46±0.83^{b}	20.87±0.72^{c}	13.80±0.87^{a}
T4 (AvP 0.31)	กรดฟอร์มิก	61.35±1.36^{a}	38.30±1.85^{bc}	17.86±2.53^{d}	14.72±1.54^{a}
T5 (AvP 0.31)	กรดแลกติก	62.18±0.84^{a}	38.41±1.80^{bc}	24.56±0.32^{b}	13.11±1.83^{a}
T6 (AvP 0.31)	กรดทาร์ทาริก	63.44±1.56^{a}	36.19±0.79^{c}	16.76±1.00^{d}	14.65±0.72^{a}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

ตารางที่ 18 พีเอชในอาหารและพีเอชในระบบทางเดินอาหาร ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	สูตรอาหาร	พีเอชในอาหาร[1]	พีเอชในระบบทางเดินอาหาร[2]
T1 (AvP 0.64)	โมโนโซเดียมฟอสเฟต	6.37±0.02^{b}	6.67±0.11^{b}
T2 (AvP 0.31)	สูตรพื้นฐาน	6.50±0.01^{a}	6.66±0.15^{b}
T3 (AvP 0.31)	กรดซิตริก	5.93±0.02^{d}	6.88±0.13^{ab}
T4 (AvP 0.31)	กรดฟอร์มิก	5.64±0.01^{e}	7.00±0.16^{a}
T5 (AvP 0.31)	กรดแลกติก	6.04±0.02^{c}	6.68±0.34^{b}
T6 (AvP 0.31)	กรดทาร์ทาริก	5.92±0.01^{d}	6.95±0.12^{a}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

[2]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 8 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

3.2 การทดลองที่ 2 ระดับของกรดอินทรีย์และอนินทรีย์ฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของปลาไน

3.2.1 ความผิดปกติและพฤติกรรมของปลาไนที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ

จากการสังเกตุพฤติกรรมและความผิดปกติของปลาที่ได้รับอาหารทดลองตลอดการทดลองไม่พบความผิดปกติของรูปร่างลักษณะภายนอก ไม่มีการแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสให้เห็น และการกินอาหารเป็นปกติตลอดการทดลอง

3.2.2 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว

การทดลองที่ 2 ใช้ปลามีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเริ่มต้นที่ 2.71 กรัม และให้อาหารที่เสริมกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟตทั้ง 9 สูตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ดังตารางที่ 19 และ 20 เมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่า ปลาเริ่มมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวแตกต่างกันตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าระดับของกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟตไม่มีอิทธิพลร่วมต่อน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว ปัจจัยที่มีผลต่อน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาไน คือ ระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟต ส่วนระดับของกรดซิตริก พบว่า ไม่มีผลต่อน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว (p>0.05) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโซเดียมฟอสเฟต 0.75 และ 0.37 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) คือ 11.06±0.49, 9.50±0.55 และ 8.38±0.70 กรัม ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแนวโน้มของน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวสูงที่สุด (11.19±0.59) และปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวต่ำที่สุด (7.91±0.44 กรัม) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ (9.87±0.28 กรัม) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวใกล้เคียงกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์และไม่เสริมกรดซิตริก (10.77±0.17 กรัม) แต่มีแนวโน้มต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ (11.11±0.61 และ 11.19±0.59 ตามลำดับ) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก มีแนวโน้มส่งผลในเชิงลบต่อน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว

ตารางที่ 19 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาไนที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟต ทั้ง 9 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1] (3x3 anova)

ชุดการทดลอง	ระดับ (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว (กรัม)			
		สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
CA	0	3.70±0.10[a]	5.24±0.30[a]	7.40±0.67[a]	9.53±0.90[a]
	0.1	3.69±0.27[a]	5.26±0.59[a]	7.48±0.97[a]	9.71±1.37[a]
	0.25	3.59±0.23[a]	5.22±0.57[a]	7.39±1.12[a]	9.51±1.50[a]
MSP	0.37	3.53±0.20[b]	4.85±0.39[b]	7.00±0.37[c]	8.38±0.70[c]
	0.75	3.64±0.13[ab]	5.17±0.28[b]	7.37±0.38[b]	9.50±0.55[b]
	1.5	3.81±0.23[a]	5.77±0.27[a]	8.45±0.49[a]	11.06±0.49[a]
MSP		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
CA		NS	NS	NS	NS
MSPXCA		NS	NS	NS	NS

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 9 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

MSP คือ ระดับ MSP, CA คือ ระดับกรดซิตริก และ MSPXCA คือ อิทธิพลร่วมระหว่างระดับ MSP และระดับกรดซิตริก

ตารางที่ 20 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาไนที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟต ทั้ง 9 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

ชุดการทดลอง	สูตรอาหาร	น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว (กรัม)				
		น้ำหนักเริ่มต้น	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
T1 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0 %	2.71±0.00	3.73±0.07	5.20±0.26	7.01±0.37	9.04±0.47
T2 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0.10 %	2.71±0.02	3.49±0.16	4.70±0.38	6.41±0.59	8.17±0.71
T3 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0.25 %	2.71±0.00	3.38±0.35	4.65±0.35	6.24±0.41	7.91±0.44
T4 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0 %	2.71±0.01	3.63±0.12	4.97±0.05	7.08±0.17	9.04±0.26
T5 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0.10 %	2.71±0.00	3.65±0.10	5.22±0.20	7.57±0.15	9.87±0.28
T6 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0.25 %	2.71±0.01	3.63±0.20	5.25±0.41	7.37±0.58	9.45±0.71
T7 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0 %	2.71±0.01	3.71±0.13	5.59±0.02	8.30±0.27	10.77±0.17
T8 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0.10 %	2.71±0.01	3.92±0.33	5.89±0.39	8.46±0.49	11.11±0.61
T9 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0.25 %	2.71±0.00	3.77±0.16	5.79±0.24	8.54±0.72	11.19±0.59

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

3.2.3 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอด

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลาไนที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟตทั้ง 9 สูตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ดังตารางที่ 21 และ 22 เมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่า ระดับกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีอิทธิพลร่วมต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ เมื่อพิจารณาปลาที่ได้รับอาหารแต่ละสูตร พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุด (313.34±21.68 เปอร์เซ็นต์) ขณะที่ปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่ำที่สุด (192.03±15.85 เปอร์เซ็นต์) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ (264.53±10.47 เปอร์เซ็นต์) มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์แต่ไม่มีการเสริมกรดซิตริก (297.49±7.04 เปอร์เซ็นต์) (p>0.05) แต่มีค่าน้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์แต่มีการเสริมกรดซิตริก 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ (310.08±21.05 และ 313.34±21.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) (p<0.05) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก มีแนวโน้มที่จะส่งผลในเชิงลบต่อน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาไนเป็นไปในแนวทางเดียวกับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น คือ ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุด (2.53±0.09 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) และปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำที่สุด (1.97±0.15 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ (2.31±0.05 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับไม่เสริมกรดซิตริก (2.31±0.05 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) (p>0.05) แต่มีค่าน้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ (2.52±0.09 และ 2.53±0.09 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ) (p<0.05) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริกมีแนวโน้มส่งผลในเชิงลบต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

อัตราการรอดของปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต และกรดซิตริก ทั้ง 9 สูตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ไม่มีการตายของปลาเกิดขึ้นระหว่างการทดลอง

3.2.4 อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ

อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิของปลาไนที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟตทั้ง 9 สูตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ดังตารางที่ 23 และ 24 เมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่า ระดับกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีอิทธิพลร่วมต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมต่ออัตราการกินอาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการกินอาหารของปลาไน คือ ระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟต ส่วนระดับของกรดซิตริก พบว่า ไม่มีผลต่ออัตราการกินอาหาร (p>0.05) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการกินอาหารต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 และ 0.37 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ คือ 4.44±0.18, 5.06±0.29 และ 5.38±0.30 เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน (p<0.05) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแนวโน้มของอัตราการกินอาหารแต่ละสูตร พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ และกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มที่อัตราการกินอาหารสูงที่สุด (5.58±0.32 เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน) และปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์และไม่เสริมกรดซิตริกมีอัตราการกินอาหารต่ำที่สุด (4.41±0.20 เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการกินอาหารใกล้เคียงกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ คือ 4.87±0.15, 4.44±0.25 และ 4.49±0.14 เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาไนที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์และไม่เสริมกรดซิตริก (1.57±0.18) มีค่าไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ (1.59±0.02, 1.60±0.10 และ 1.70±0.05 ตามลำดับ) (p>0.05) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ คือ 2.23±0.18, 2.00±0.13 และ 2.16±0.11 ตามลำดับ (p>0.05)

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาไน คือ ระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟต ส่วนระดับของกรดซิตริก พบว่า ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (p>0.05) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 และ 0.37 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ คือ 1.66±0.10, 1.37±0.09 และ 1.35±0.09 ตามลำดับ (p<0.05) และเมื่อพิจารณาแนวโน้มของประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของแต่ละสูตร พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0, 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มที่ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงที่สุด คือ 1.66±0.04, 1.66±0.15 และ 1.65±0.14 ตามลำดับ ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์และไม่เสริมกรดซิตริก ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนใกล้เคียงกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ คือ 1.32±0.05, 1.43±0.07 และ 1.37±0.14 ตามลำดับ สำหรับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ และเสริมกรดซิตริกมีแนวโน้มในเชิงลบต่อประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โดยปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนต่ำที่สุด คือ 1.08±0.14

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิของปลาไน คือ ระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟต ส่วนระดับของกรดซิตริก พบว่า ไม่มีผลต่อการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (p>0.05) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 และ 0.37 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ คือ 23.21±0.91, 18.77±1.44 และ 14.80±1.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (p<0.05) เมื่อพิจารณาแนวโน้มการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิของแต่ละสูตร พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์และไม่เสริมกรดซิตริก มีการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิใกล้เคียงกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ คือ 23.80±0.52, 23.24±0.97 และ 22.32±0.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (p>0.05) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0, 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ (17.81±0.83, 19.81±0.81 และ 18.68±1.98 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) มีการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ (p<0.05) สำหรับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก พบว่า มีผลในเชิงลบต่อการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ โดยปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียม

ฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มที่การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิต่ำที่สุด คือ 13.41±1.80 เปอร์เซ็นต์ (p<0.05)

ตารางที่ 21 การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตรเป็นเวลา 8 สัปดาห์[1] (3x3 anova)

ชุดการทดลอง	ระดับ	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)
CA	0 %	249.92±31.13	2.23±0.15	100±0.00
	0.1 %	258.73±50.21	2.26±0.26	100±0.00
	0.25 %	251.43±55.82	2.22±0.28	100±0.00
MSP	0.37 %	209.23±25.62	2.01±0.15	100±0.00
	0.75 %	249.17±19.72	2.23±0.10	100±0.00
	1.5 %	308.15±17.71	2.51±0.77	100±0.00
MSP		<0.05	<0.05	
CA		NS	NS	
MSPXCA		<0.05	<0.05	

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 9 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

MSP คือ ระดับ MSP, CA คือ ระดับกรดซิตริก และ MSPXCA คือ อิทธิพลร่วมระหว่างระดับ MSP และระดับกรดซิตริก

ตารางที่ 22 การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตรเป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

ชุดการทดลอง	สูตรอาหาร	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)
T1 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0 %	234.08±17.11^{cd}	2.15±0.09^{c}	100±0.00
T2 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0.10 %	201.57±24.99^{de}	1.97±0.15^{d}	100±0.00
T3 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0.25 %	192.03±15.85^{e}	1.91±0.10^{d}	100±0.00
T4 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0 %	234.06±7.57^{cd}	2.15±0.04^{c}	100±0.00
T5 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0.10 %	264.53±10.47^{bc}	2.31±0.05^{bc}	100±0.00
T6 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0.25 %	248.93±26.32^{c}	2.23±0.14^{c}	100±0.00
T7 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0 %	297.49±7.04^{ab}	2.46±0.03^{ab}	100±0.00
T8 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0.10 %	310.08±21.05^{a}	2.52±0.09^{a}	100±0.00
T9 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0.25 %	313.34±21.68^{a}	2.53±0.09^{a}	100±0.00

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

ตารางที่ 23 ปริมาณอาหารที่กินและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1] (3x3 anova)

ชุดการทดลอง	ระดับ	อัตราการกินอาหาร (เปอร์เซ็นต์/ตัว/วัน)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน	การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (เปอร์เซ็นต์)
CA	0 %	4.92±0.45[a]	1.86±0.26	1.44±0.18[a]	19.84±3.36[a]
	0.1 %	4.91±0.47[a]	1.81±0.27	1.41±0.24[a]	18.76±3.75[a]
	0.25 %	5.04±0.52[a]	1.93±0.29	1.36±0.27[a]	17.62±4.06[a]
MSP	0.37 %	5.38±0.30[a]	2.13±0.16	1.35±0.09[c]	14.80±1.97[c]
	0.75 %	5.06±0.29[b]	1.89±0.17	1.37±0.09[b]	18.77±1.44[b]
	1.5 %	4.44±0.18[c]	1.58±0.10	1.66±0.10[a]	23.21±0.91[a]
MSP		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
CA		NS	NS	NS	NS
MSPXCA		NS	<0.05	NS	NS

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 9 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

MSP คือ ระดับ MSP, CA คือ ระดับกรดซิตริก และ MSPXCA คือ อิทธิพลร่วมระหว่างระดับ MSP และระดับกรดซิตริก

ตารางที่ 24 ปริมาณอาหารที่กินและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

ชุดการทดลอง	สูตรอาหาร	อัตราการกินอาหาร (เปอร์เซ็นต์/ตัว/วัน)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน	การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (เปอร์เซ็นต์)
T1 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0 %	5.12±0.17	2.00±0.13^{ab}	1.35±0.09	16.96±1.08
T2 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0.10 %	5.44±0.22	2.16±0.11^{ab}	1.14±0.11	14.75±1.50
T3 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0.25 %	5.58±0.32	2.23±0.18^{a}	1.08±0.14	13.41±1.80
T4 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0 %	5.25±0.37	2.02±0.18^{ab}	1.32±0.05	17.81±0.83
T5 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0.10 %	4.87±0.15	1.70±0.05^{c}	1.43±0.07	19.81±0.81
T6 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0.25 %	5.05±0.28	1.95±0.09^{b}	1.37±0.14	18.68±1.98
T7 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0 %	4.41±0.20	1.57±0.18^{c}	1.66±0.04	23.80±0.52
T8 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0.10 %	4.44±0.25	1.59±0.02^{c}	1.66±0.15	23.24±0.97
T9 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0.25 %	4.49±0.14	1.60±0.10^{c}	1.65±0.14	22.32±0.93

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

3.2.5 องค์ประกอบทางเคมีในตัวปลา

องค์ประกอบทางเคมีในตัวปลาของปลาไนที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟตทั้ง 9 สูตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ดังตารางที่ 25 และ 26 เมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่า ระดับกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีอิทธิพลร่วมต่อโปรตีนและไขมันในตัวปลา แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมต่อความชื้น เถ้า และฟอสฟอรัสในตัวปลา ปัจจัยที่มีผลต่อความชื้นของปลาไน คือ ระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟต ส่วนระดับของกรดซิตริก พบว่า ไม่มีผลต่อความชื้นของตัวปลา (p>0.05) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 และ 0.75 เปอร์เซ็นต์ มีความชื้นสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ คือ 76.10±1.27, 75.30±1.32 และ 73.97±1.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (p<0.05) เมื่อพิจารณาแนวโน้มความชื้นในตัวปลาแต่ละสูตร พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีความชื้นในตัวปลาต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ คือ 73.54±1.22, 73.51±0.80, 76.38±0.35 และ 76.17±1.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาโปรตีนในตัวปลาแต่ละสูตร พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์และไม่เสริมกรดซิตริก มีโปรตีนในตัวปลาไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ คือ 60.20±0.61, 60.52±1.21 และ 59.72±0.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (p>0.05) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์และไม่เสริมกรดซิตริก มีโปรตีนในตัวปลาต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ คือ 55.24±0.54, 56.57±0.31 และ 56.96±0.52 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (p>0.05) สำหรับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0, 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีนในตัวต่ำกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ คือ 54.29±1.25, 52.58±0.35 และ 51.41±0.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (p<0.05)

เมื่อพิจารณาไขมันในตัวปลาแต่ละสูตร พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ (24.74±1.37 เปอร์เซ็นต์) มีไขมันในตัวปลาไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ (24.42±0.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) แต่มีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญ (27.74±0.68 เปอร์เซ็นต์) (p<0.05) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ (27.92±1.60 เปอร์เซ็นต์) มีไขมันในตัวไม่แตกต่างกับ

ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ (29.81±0.24 เปอร์เซ็นต์) (p>0.05) แต่มีไขมันในตัวต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารไม่เสริมกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญ (31.77±1.90 เปอร์เซ็นต์) (p<0.05) สำหรับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีไขมันในตัวสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ คือ 36.17±0.67 และ 35.02±0.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (p<0.05)

ปัจจัยที่มีผลต่อเถ้าในตัวปลา คือ ระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟต ส่วนระดับของกรดซิตริก พบว่า ไม่มีผลต่อเถ้าในตัวปลา (p>0.05) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีเถ้าในตัวปลาสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ คือ 9.87±0.47, 10.33±0.64 และ 8.99±0.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (p<0.05) เมื่อพิจารณาแนวโน้มของเถ้าในตัวปลาแต่ละสูตร พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ (10.07±0.24 และ 10.08±0.62) มีเถ้าในตัวปลาใกล้เคียงกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโนโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0, 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ (10.06±0.28, 10.26±0.80 และ 10.77±0.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

ปัจจัยที่มีผลต่อฟอสฟอรัสในตัวปลา คือ ระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟต ส่วนระดับของกรดซิตริก พบว่า ไม่มีผลต่อฟอสฟอรัสในตัวปลา (p>0.05) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีฟอสฟอรัสในตัวปลาสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 และ 0.37 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ คือ 1.72±0.14, 1.60±0.10 และ 1.44±0.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (p<0.05) เมื่อพิจารณาแนวโน้มของฟอสฟอรัสในตัวปลาแต่ละสูตร พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกมีแนวโน้มช่วยเพิ่มฟอสฟอรัสในตัวปลา โดยปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์และไม่เสริมกรดซิตริก (1.69±0.07 เปอร์เซ็นต์) มีฟอสฟอรัสในตัวปลาใกล้เคียงกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ คือ 1.63±0.15 และ 1.61±0.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (p>0.05) สำหรับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0, 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ (31.89±1.33, 36.17±0.67 และ 35.02±0.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) มีแนวโน้มที่ฟอสฟอรัสในตัวปลาต่ำกว่าสูตรอื่น

ตารางที่ 25 องค์ประกอบทางเคมีในตัวปลา (เปอร์เซ็นต์) ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตรเป็นเวลา 8 สัปดาห์[1] (3x3 anova)

ชุดการทดลอง	ระดับ	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ฟอสฟอรัส
CA	0 %	75.39±1.29[a]	56.57±2.83	30.84±2.27	9.60±0.43[a]	1.59±0.10[a]
	0.1 %	74.87±1.72[a]	56.56±3.47	30.17±5.46	9.76±0.80[a]	1.58±0.20[a]
	0.25 %	75.10±1.49[a]	56.03±3.67	29.22±4.68	9.84±1.07[a]	1.59±0.16[a]
MSP	0.37 %	73.97±1.00[b]	52.76±1.41	34.40±2.00	8.99±0.58[b]	1.44±0.06[c]
	0.75 %	75.30±1.32[a]	56.25±0.81	29.83±2.22	9.87±0.47[a]	1.60±0.10[b]
	1.5 %	76.10±1.27[a]	60.14±0.64	25.36±1.67	10.33±0.64[a]	1.72±0.14[a]
MSP		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
CA		NS	NS	NS	NS	NS
MSPXCA		NS	<0.05	<0.05	NS	NS

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 9 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

MSP คือ ระดับ MSP, CA คือ ระดับกรดซิตริก และ MSPXCA คือ อิทธิพลร่วมระหว่างระดับ MSP และระดับกรดซิตริก

ตารางที่ 26 องค์ประกอบทางเคมีในตัวปลา (เปอร์เซ็นต์) ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตรเป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

ชุดการทดลอง	สูตรอาหาร	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ฟอสฟอรัส
ปลาก่อนทดลอง	-	71.15±1.08	55.18±0.32	18.24±0.66	11.35±0.09	2.06±0.02
T1 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0 %	74.85±0.37	54.29±1.25^{c}	32.01±1.15^{b}	9.26±0.32	1.51±0.05
T2 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0.10 %	73.54±1.22	52.58±0.35^{d}	36.17±0.67^{a}	9.06±0.89	1.41±0.07
T3 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0.25 %	73.51±0.80	51.41±0.29^{e}	35.02±0.55^{a}	8.67±0.67	1.41±0.03
T4 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0 %	74.95±2.09	55.24±0.54^{c}	31.77±1.90^{b}	9.47±0.31	1.56±0.07
T5 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0.10 %	75.33±1.51	56.57±0.31^{b}	29.81±0.24^{bc}	10.07±0.24	1.63±0.15
T6 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0.25 %	75.63±0.50	56.96±0.52^{b}	27.92±1.60^{c}	10.08±0.62	1.61±0.06
T7 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0 %	76.38±0.35	60.20±0.61^{a}	27.74±0.68^{c}	10.06±0.28	1.69±0.07
T8 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0.10 %	75.73±2.00	60.52±1.21^{a}	24.42±0.38^{d}	10.26±0.80	1.72±0.20
T9 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0.25 %	76.17±1.43	59.72±0.66^{a}	24.74±1.37^{d}	10.77±0.68	1.75±0.11

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

3.2.6 เถ้าในกระดูก ฟอสฟอรัสในกระดูก การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลา

เถ้าในกระดูก ฟอสฟอรัสในกระดูก การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลาไนที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟตทั้ง 9 สูตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ดังตารางที่ 27 และ 28 เมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่า ระดับกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีอิทธิพลร่วมต่อเถ้าในกระดูก ฟอสฟอรัสในกระดูก การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลาไน เมื่อพิจารณาเถ้าในกระดูกแต่ละสูตร พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ (63.10±0.79 เปอร์เซ็นต์) มีเถ้าในกระดูกสูงที่สุด และไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ (62.88±2.23 เปอร์เซ็นต์) (p>0.05) แต่สูงกว่ากับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ (55.57±0.71 และ 59.63±1.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์และไม่เสริมกรดซิตริก (55.57±0.71 เปอร์เซ็นต์) มีเถ้าในกระดูกไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ (56.62±0.07 และ 56.57±0.02เปอร์เซ็นต์) (p>0.05)

เมื่อพิจารณาฟอสฟอรัสในกระดูกแต่ละสูตร พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ (10.96±0.20 เปอร์เซ็นต์) มีฟอสฟอรัสในกระดูกสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมกรดซิตริก (10.70±0.04) อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ (10.70±0.12 และ 10.85±0.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) มีฟอสฟอรัสในกระดูกไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์และไม่เสรมกรดซิตริก (10.72±0.04 เปอร์เซ็นต์) (p>0.05) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีฟอสฟอรัสในกระดูกต่ำที่สุด คือ 10.18±0.05 และแตกต่างจากสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

เมื่อพิจารณาการเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายแต่ละสูตร พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีการเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายสูงที่สุด คือ 18.46±1.26 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีการเก็บสะสมฟอสฟอรัสใน

ร่างกายไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ คือ 17.13±0.64 และ 15.84±0.42 และ 16.84±1.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (p>0.05) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีการเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายต่ำที่สุด คือ 9.53±0.91 เปอร์เซ็นต์ (p<0.05)

เมื่อพิจารณาฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งแต่ละสูตร พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งต่ำที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ และกรดซิตริก 0, 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ คือ 17.12±0.27, 17.91±1.45, 17.16±0.46 และ 18.09±1.78 ก.ฟอสฟอรัสต่อกก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ (p>0.05) แต่มีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์และไม่เสริมกรดซิตริก อย่างมีนัยสำคัญ คือ 21.09±2.21 ก.ฟอสฟอรัสต่อกก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (p<0.05) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งสูงที่สุด คือ 22.51±1.67 ก.ฟอสฟอรัสต่อกก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 27 เถ้าในกระดูก ฟอสฟอรัสในกระดูก การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตรเป็นเวลา 8 สัปดาห์[1] (3x3 anova)

ชุดการทดลอง	ระดับ	เถ้าในกระดูก (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัสในกระดูก (เปอร์เซ็นต์)	การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง (ก.ฟอสฟอรัส/กก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น)
CA	0 %	58.65±2.43	10.68±0.11	13.28±1.58	19.60±1.99
	0.1 %	60.18±2.81	10.70±0.16	15.73±3.96	18.92±2.83
	0.25 %	60.93±2.86	10.66±0.38	14.06±2.66	19.46±1.69
MSP	0.37 %	57.87±1.62	10.49±0.25	11.43±1.40	21.11±1.56
	0.75 %	62.26±1.35	10.71±0.17	14.58±2.40	19.18±2.15
	1.5 %	59.03±2.89	10.85±0.15	17.00±1.88	17.71±1.25
MSP		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
CA		<0.05	NS	NS	NS
MSPXCA		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 9 ซ้ำ)

MSP คือ ระดับ MSP, CA คือ ระดับกรดซิตริก และ MSPXCA คือ อิทธิพลร่วมระหว่างระดับ MSP และระดับกรดซิตริก ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

ตารางที่ 28 เถ้าในกระดูก ฟอสฟอรัสในกระดูก การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตรเป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

ชุดการทดลอง	สูตรอาหาร	เถ้าในกระดูก (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัสในกระดูก (เปอร์เซ็นต์)	การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง (ก.ฟอสฟอรัส/กก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น)
T1 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0 %	59.58±0.48^{b}	10.74±0.06^{bc}	12.66±0.33^{cd}	19.82±1.09^{bc}
T2 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0.10 %	56.62±0.07^{c}	10.54±0.09^{c}	9.53±0.91^{e}	22.51±1.67^{a}
T3 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0.25 %	56.57±0.02^{c}	10.18±0.05^{d}	11.45±0.69^{de}	20.98±0.43^{ab}
T4 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0 %	60.81±0.65^{b}	10.59±0.14^{c}	12.72±2.11^{cd}	21.09±2.21^{ab}
T5 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0.10 %	63.10±0.79^{a}	10.70±0.12^{bc}	17.13±0.64^{ab}	17.12±0.27^{d}
T6 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0.25 %	62.88±2.23^{a}	10.85±0.16^{ab}	13.89±1.56^{cd}	19.33±1.29^{bcd}
T7 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0 %	55.57±0.71^{c}	10.72±0.04^{bc}	15.84±0.42^{bc}	17.91±1.45^{cd}
T8 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0.10 %	59.63±1.11^{b}	10.87±0.02^{ab}	18.46±1.26^{a}	17.16±0.46^{d}
T9 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0.25 %	62.61±0.71^{ab}	10.96±0.20^{a}	16.84±1.90^{ab}	18.09±1.78^{cd}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

3.2.7 **พีเอชในอาหาร และพีเอชในระบบทางเดินอาหารของปลา**

พีเอชในอาหาร และพีเอชในระบบทางเดินอาหารของปลาไนที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟตทั้ง 9 สูตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ดังตารางที่ 29 และ 30 เมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่า ระดับกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีอิทธิพลร่วมต่อพีเอชในอาหาร และพีเอชในระบบทางเดินอาหารของปลาไน เมื่อพิจารณาพีเอชในอาหารแต่ละสูตร พบว่า อาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีพีเอชต่ำที่สุด รองลงมาคือ อาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ และ อาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ คือ 5.91±0.01, 5.95±0.01 และ 5.99±0.01 ตามลำดับ (p>0.05) อาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0 เปอร์เซ็นต์ มีพีเอชสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ คือ 6.15±0.01 (p<0.05)

เมื่อพิจารณาพีเอชในระบบทางเดินอาหารของปลาไนที่ได้รับอาหารแต่ละสูตร พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีพีเอชใกล้เคียงกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์และไม่เสริมกรดซิตริก แต่มีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ คือ 6.40±0.08, 6.42±0.08 และ 6.80±0.09 ตามลำดับ (p<0.05) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีพีเอชในระบบทางเดินอาหารต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตและไม่เสริมกรดซิตริก อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) คือ 6.44±0.14 และ 6.82±0.05 ตามลำดับ (p<0.05) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0, 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีพีเอชในระบบทางเดินอาหารไม่แตกต่างกัน (p<0.05) คือ 6.67±0.15, 6.61±0.19 และ 6.62±0.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 29 พีเอชในอาหาร และพีเอชในระบบทางเดินอาหาร ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1] (3x3 anova)

ชุดการทดลอง	ระดับ	พีเอชในอาหาร	พีเอชในระบบทางเดินอาหาร
CA	0 %	6.07±0.07	6.61±0.18
	0.1 %	6.05±0.07	6.50±0.17
	0.25 %	5.98±0.06	6.67±0.15
MSP	0.37 %	6.11±0.04	6.63±0.13
	0.75 %	6.05±0.05	6.63±0.19
	1.5 %	5.95±0.04	6.52±0.20
MSP		<0.05	NS
CA		<0.05	<0.05
MSPXCA		<0.05	<0.05

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 9 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

MSP คือ ระดับ MSP, CA คือ ระดับกรดซิตริก และ MSPXCA คือ อิทธิพลร่วมระหว่างระดับ MSP และระดับกรดซิตริก

ตารางที่ 30 พีเอชในอาหาร และพีเอชในระบบทางเดินอาหาร ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	สูตรอาหาร	พีเอชในอาหาร[1]	พีเอชในระบบทางเดินอาหาร[2]
T1 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0 %	6.15±0.01[a]	6.67±0.15[a]
T2 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0.10 %	6.09±0.01[c]	6.61±0.19[ab]
T3 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0.25 %	5.99±0.01[f]	6.62±0.12[ab]
T4 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0 %	6.12±0.01[b]	6.82±0.05[a]
T5 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0.10 %	6.07±0.01[d]	6.44±0.14[bc]
T6 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0.25 %	5.95±0.01[g]	6.62±0.16[ab]
T7 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0 %	6.05±0.01[e]	6.42±0.08[bc]
T8 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0.10 %	5.98±0.01[f]	6.40±0.08[c]
T9 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0.25 %	5.91±0.01[h]	6.80±0.09[a]

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

[2]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 6 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

3.2.8 ต้นทุนค่าอาหารและต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลา

ต้นทุนค่าอาหารและต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตของปลาไนที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟตทั้ง 9 สูตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ดังตารางที่ 31 และ 32 เมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่า ระดับกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีอิทธิพลร่วมต่อต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตของปลาไน เมื่อพิจารณาต้นทุนค่าอาหารแต่ละสูตร พบว่า อาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0, 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีราคาอาหารกิโลกรัมละ 26.90, 26.91 และ 26.93 บาท ตามลำดับ สูงกว่าอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0, 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ ที่มีราคา 26.74, 26.76 และ 26.77 บาท ตามลำดับ ส่วนอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0, 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีราคาอาหารต่ำที่สุด คือ 26.67, 26.68 และ 26.70 ตามลำดับ

ต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตของปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ (42.92±0.57 บาท/กก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น) มีต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตต่ำที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ (44.91±0.38 บาท/กก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น) และไม่เสริมกรดซิตริก (45.17±0.41 บาท/กก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น) (p>0.05) ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ คือ 45.55±1.24, 51.48±1.69 และ 53.71±0.56 บาท/กก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ (p>0.05) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0, 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตสูงที่สุด คือ 55.23±2.22, 56.00±0.08 และ 57.06±2.87 บาท/กก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ

ตารางที่ 31 ต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลาของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์ (3x3 anova)

ชุดการทดลอง	ระดับ	ต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลา[1] (บาท/กก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น)
CA	0 %	50.63±4.72
	0.1 %	47.18±5.63
	0.25 %	51.89±5.76
MSP	0.37 %	56.10±1.81
	0.75 %	49.58±4.00
	1.5 %	44.13±1.21
MSP		<0.05
CA		<0.05
MSPXCA		<0.05

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 9 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

MSP คือ ระดับ MSP, CA คือ ระดับกรดซิตริก และ MSPXCA คือ อิทธิพลร่วมระหว่างระดับ MSP และระดับกรดซิตริก

ตารางที่ 32 ต้นทุนค่าอาหาร ผลต่างของราคาอาหาร และต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลาของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	สูตรอาหาร	ต้นทุนค่าอาหาร (บาทต่อกิโลกรัม)	ต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลา[1] (บาท/กก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น)
T1 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0 %	26.67	55.23±2.22^{ab}
T2 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0.10 %	26.68	56.00±0.08^{ab}
T3 (AvP 0.46)	0.37% MSP+CA 0.25 %	26.70	57.06±2.87^{a}
T4 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0 %	26.74	51.48±1.69^{c}
T5 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0.10 %	26.76	45.55±1.24^{d}
T6 (AvP 0.54)	0.75 % MSP+CA 0.25 %	26.77	53.71±0.56^{bc}
T7 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0 %	26.90	45.17±0.41^{d}
T8 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+CA 0.10 %	26.91	42.92±0.57^{d}
T9 (AvP 0.70)	1.5 % MSP+ CA 0.25 %	26.93	44.91±0.38^{d}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1

จากการศึกษากรดอินทรีย์ 4 ชนิด คือ กรดซิตริก กรดฟอร์มิก กรดแลกติก และกรดทาร์ทาริก ต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของปลาไน พบว่า ไม่สามารถนำข้อมูลที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตมาใช้พิจารณาเพื่อบอกชนิดของกรดอินทรีย์ที่ส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตของปลาไน เนื่องจาก ปลาไม่สามารถนำฟอสฟอรัสในอาหารไปใช้ได้เพียงพอกับความต้องการ แต่เมื่อพิจารณาจากพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส เช่น ประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส เถ้าในตัวปลา ฟอสฟอรัสในตัวปลา ฟอสฟอรัสในมูล การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย พบว่า กรดอินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส โดยปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก มีแนวโน้มสามารถนำฟอสฟอรัสในอาหารไปใช้ได้สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดแลกติก กรดฟอร์มิก และกรดทาร์ทาริก จากการรวบรวมเอกสาร พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลให้กรดแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน คือ ความสามารถในการเกาะจับแคทไอออนในระบบทางเดินอาหาร และความเป็นกรด (Vielma and Lall, 1997; Hossain *et al*., 2007; Phromkunthong *et al*., 2010a, b) จากการรายงานค่าคงที่ความเสถียร พบว่า กรดซิตริกเป็นตัวคีเลทที่ดีที่สุด รองลงมา คือ กรดทาร์ทาริก กรดแลกติก และกรดฟอร์มิก ตามลำดับ (Furia, 1972) เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสในมูล พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกมีแนวโน้มประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสในมูลดีกว่าสูตรอื่น และข้อยืนยันอีกประการหนึ่งที่เชื่อมโยงกับการนำฟอสฟอรัสในอาหารไปใช้ประโยชน์ คือ ความชื้น โปรตีน และไขมันในตัวปลา ซึ่งหากปลาได้รับฟอสฟอรัสในอาหารที่ต่ำจะทำให้ความชื้นและโปรตีนในตัวปลาลดต่ำลง ขณะที่ไขมันในตัวปลาเพิ่มสูงขึ้น (Takeuchi and Nakazoe, 1981) และจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าปลาที่ได้รับกรดซิตริกมีความชื้นและโปรตีนในตัวปลาสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ และสอดคล้องกับระดับไขมันในตัวที่มีแนวโน้มการนำไปใช้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากกรดซิตริกนำฟอสฟอรัสในอาหารไปใช้ได้มากขึ้น สอดคล้องกับ นิวดี (2552) ที่พบว่า เมื่อปลาใช้ฟอสฟอรัสในอาหารได้มากขึ้นจะทำให้ความชื้นและโปรตีนในตัวปลาเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่ไขมันในตัวลดต่ำลง

ในด้านการเจริญเติบโต พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด ไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต โดยปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว น้ำหนักที่

เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรพื้นฐาน แต่มีค่าน้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์และสูตรพื้นฐานแสดงการขาดฟอสฟอรัสอย่างชัดเจน เช่น ไขมันในตัวปลาเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่ความชื้นในตัวปลาลดต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับ Takeuchi and Nakazoe (1981) ที่รายงานไว้ว่าถ้าปลาที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสไม่เพียงพอจะทำให้ปลาแสดงอาการดังกล่าว และเป็นสาเหตุให้ปลาเจริญเติบโตน้อยกว่าปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสฟอต จากการรายงานของ Takeuchi และคณะ (2002) พบว่า ปลาไนมีความต้องการฟอสฟอรัสประมาณ 0.6-0.8 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สูตรอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์มีฟอสฟอรัสที่ปลาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เพียงประมาณ 0.31 เปอร์เซ็นต์ ประกอบกับกรดอินทรีย์ช่วยให้ปลาไนมีประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย จึงทำให้ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต และปลาแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสให้เห็นผ่านทางองค์ประกอบทางเคมีในตัวปลา (วุฒิพร และคณะ, 2551; Takeuchi *et al*., 2002; Vielma *et al*., 2002) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า การเสริมกรดอินทรีย์เพียงอย่างเดียว โดยไม่เสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในอาหาร ไม่สามารถทำให้ระดับฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ได้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของปลาไน

จากการศึกษาประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาไน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ไม่แตกต่างกับสูตรพื้นฐาน เป็นผลมาจากการเสริมกรดอินทรีย์ไม่สามารถทำให้ฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ได้เพียงพอต่อปลาไน โดยปลาต้องกินอาหารเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ได้ฟอสฟอรัสที่เพียงพอ สอดคล้องกับการศึกษาของ วุฒิพร และคณะ (2551) ที่กล่าวว่า เมื่อปลาได้รับฟอสฟอรัสในอาหารต่ำ จะทำให้ปลามีอัตราการกินอาหารเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ได้ฟอสฟอรัสที่เพียงพอ สำหรับประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ พบว่า เกิดจากการขาดฟอสฟอรัสในอาหารเช่นเดียวกัน ซึ่ง Roy และ Lall (2003) กล่าวว่า อาหารที่มีฟอสฟอรัสไม่เพียงพอต่อความต้องการทำให้ปลาไม่สามารถนำไขมันไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ ส่งผลให้ปลาต้องนำโปรตีนที่ได้จากอาหารไปใช้เป็นแหล่งพลังงานแทนที่จะใช้เพื่อการเจริญเติบโตหรือสะสมในร่างกาย ทำให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสอย่างเพียงพอ

องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาของการทดลองที่ 1 พบว่า ปลาแสดงออกถึงการขาดฟอสฟอรัส เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต ปลาที่ได้รับอาหารสูตรพื้นฐาน และปลาที่ได้รับกรดอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด พบว่า ปลาที่ได้รับ

อาหารสูตรพื้นฐาน และอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์ มีความชื้น เถ้า ฟอสฟอรัส และโปรตีนในตัวปลาลดต่ำลง ส่วนไขมันเพิ่มสูง ซึ่งแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตอย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างปลาที่ได้รับกรดอินทรีย์กับอาหารสูตรพื้นฐาน พบว่า ปลาที่ได้รับกรดอินทรีย์มี ความชื้น เถ้า ฟอสฟอรัส และโปรตีนในตัวปลามีแนวโน้มสูงกว่าสูตรพื้นฐาน ในขณะที่ไขมันในตัวต่ำกว่าสูตรพื้นฐาน ทั้งนี้ เมื่อปลาไนได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอต่อความต้องการจะส่งผลให้ความชื้น และเถ้าในตัวปลาต่ำกว่าปกติ ในขณะที่ไขมันเพิ่มสูงขึ้น (Takeuchi *et al.,* 2002) ในประเด็นความชื้นในตัวปลาที่ต่ำลง ยังมีความคลุมเครือถึงกลไกการลดลง Yeannes และ Almandos (2003) รายงานความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีในปลาจำนวน 187 ชนิด พบว่า ปริมาณไขมันแปรผกผันกับปริมาณน้ำในตัวปลา กล่าวคือ หากในตัวปลามีปริมาณไขมันมาก ปริมาณน้ำในตัวปลาจะลดลง ส่วนระดับไขมันที่เพิ่มสูงขึ้นเกิดจากปลาได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอกับความต้องการ โดย Vielma และคณะ (2002) พบว่า ปลาที่ได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอมีผลให้ไขมันเพิ่มสูงขึ้น เพราะฟอสฟอรัสเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชั่น (esterification) ในการเปลี่ยนไขมันให้เป็นพลังงาน และฟอสฟอรัสมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการเบต้าออกซิเดชั่น (beta-oxidation) ซึ่งการเปลี่ยนกรดไขมันเป็นพลังงานนี้เกิดขึ้นโดยกรดไขมันจะไปรวมตัวกับฟอสฟอรัสที่เป็นส่วนประกอบใน ATP และโคเอนไซม์เอ ได้เป็น fatty acyl-CoA หลังจากนั้นรวมตัวกับ carnitine และถูกผลักเข้าสู่ผนังเซลล์ไมโทคอนเดรีย ได้ fatty acyl carnitine ส่วน carnitine จะถูกปลดปล่อยออกมาเพื่อไปจับกับกรดไขมันตัวต่อไป เหลือ fatty acyl-CoA หลังจากนั้น fatty acyl-CoA จะเข้าสู่กระบวนการเบต้าออกซิเดชั่น ผลผลิตที่ได้ คือ acetyl-CoA เข้าสู่วัฏจักรเครบส์ (Krebs' cycle) ได้เป็นพลังงานออกมา ซึ่งปลาที่ขาดฟอสฟอรัสจะมีฟอสฟอรัสไม่เพียงพอเพื่อใช้ในกระบวนการดังกล่าว ส่งผลให้องค์ประกอบของไขมันในตัวปลาเพิ่มสูงขึ้น (ชุติมา, 2549) เมื่อปลาไม่สามารถใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงาน จึงจำเป็นต้องใช้โปรตีนเป็นแหล่งพลังงาน โดยจะสลายกรดอะมิโนให้เป็นสารตัวกลางในวัฏจักรเครบส์หรือวิถีไกลคอลิซิส เช่น NADH, $FADH_2$ หรือ NADPH ส่งผลให้โปรตีนในตัวปลาลดต่ำลง (ดาวัลย์, 2548; Roy and Lall, 2003) สอดคล้องกับการศึกษาของ วุฒิพร และคณะ (2551) ซึ่งรายงานว่า ปลาที่ได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอกับความต้องการจะทำให้โปรตีนในตัวปลาลดต่ำลง สำหรับเถ้าในตัวปลาที่ลดต่ำลงเมื่อฟอสฟอรัสไม่เพียงพอต่อความต้องการ เนื่องจากองค์ประกอบของเถ้า คือ สารอนินทร์ที่อยู่ในร่างกาย ซึ่งรวมไปถึงฟอสฟอรัสและแร่ธาตุอย่างอื่น เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม (วุฒิพร, 2541) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าปริมาณเถ้าที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นเพราะปลาดูดซึมฟอสฟอรัส และแร่ธาตุอื่นได้มากขึ้น สอดคล้องกับการรายงานของ Sugiura และคณะ (1998) ซึ่ง

พบว่า ปลาเรนโบว์เทร้าท์สามารถนำฟอสฟอรัส แคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม และแมงกานีส ไปใช้ได้มากขึ้นเมื่อได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก

ประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสในอาหาร จากการทดลองที่ 1 พบว่า เมื่อเสริมกรดอินทรีย์ในอาหาร จะทำให้ปลาที่ได้รับอาหารมีประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรพื้นฐาน อย่างไรก็ตาม การเสริมกรดอินทรีย์เพียงอย่างเดียวโดยไม่เสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในอาหาร ทำให้ปลามีฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ไม่เพียงต่อการเจริญเติบโต เนื่องจาก เมื่อเสริมกรดอินทรีย์ในอาหารทำให้ประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเพียง 3-6 เปอร์เซ็นต์ ไม่สามารถทดแทนอนินทรีย์ฟอสเฟตที่หายไปได้ ส่งผลให้ปลาแสดงออกถึงการขาดฟอสฟอรัสให้เห็น สอดคล้องกับการศึกษาของ Baruah และคณะ (2007) พบว่า ปลายี่สกเทศ (เป็นปลาในกลุ่มเดียวกับปลาไน) ที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 3 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ Sarker และคณะ (2012a, b) พบว่า ปลาหางเหลืองที่ได้รับกรดซิตริกและกรดฟอร์มิก มีประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสดีกว่าปลาที่ไม่ได้รับกรดซิตริก Pandey และ Satoh (2008) พบว่า ปลาเรนโบว์เทร้าท์ที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก และกรดแลกติก มีการประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมกรดอินทรีย์ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของกรดอินทรีย์แต่ละชนิด พบว่า ปลาแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ปลาที่ได้รับกรดซิตริกมีแนวโน้มประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสดีกว่าปลาที่ได้รับกรดอินทรีย์ชนิดอื่น เช่น พบว่า เถ้าในตัว ฟอสฟอรัสในตัว และประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสมีแนวโน้มสูงกว่ากรดอินทรีย์ชนิดอื่น โดยเฉพาะฟอสฟอรัสในตัวปลาสูงกว่ากรดอินทรีย์ชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งค่าเหล่านั้นสามารถบ่งบอกถึงการนำฟอสฟอรัสในอาหารไปใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อตัวปลาได้ดี (Skonberg *et al*., 1997; Coloso *et al*., 2003; Roy and Lall, 2003) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเสริมกรดอินทรีย์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสได้ ซึ่งมีงานวิจัยหลายเรื่องที่กล่าวตรงกัน เช่น Sarker และคณะ (2007) โดยได้ศึกษาในปลาเรดซีบรีม พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 1 เปอร์เซ็นต์ มีการเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายเพิ่มสูงขึ้น และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งลดลง Hossain และคณะ (2007) รายงานตรงกันว่า ปลาเรดซีบรีมที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 1 เปอร์เซ็นต์ มีการนำฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น โดยดูได้จากการเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายเพิ่มสูงขึ้น และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งลดลง จากการรวบรวมเอกสารอาจสรุปได้ว่า การเสริมกรดอินทรีย์ในอาหารช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสได้จากเหตุผลหลายประเด็น เช่น การเสริมกรดอินทรีย์ในอาหารจะทำให้พีเอชในลำไส้ลดต่ำลง ซึ่งความเป็นกรดด่างในระบบ

ทางเดินอาหารของปลาจะส่งผลดีต่อการใช้ประโยชน์ของแร่ธาตุโดยจะเพิ่มความสามารถในการละลายของแร่ธาตุ และการเสริมกรดอินทรีย์ช่วยเพิ่มการดูดซึมของแร่ธาตุให้สูงขึ้น โดยกรดอินทรีย์สามารถจับกับแคทไอออนที่อยู่ในลำไส้และเกิดการรวมตัวทำให้ง่ายต่อการดูดซึม (วุฒิพร, 2541; Wood and Serfatty-Lacrosniere, 1992; Vielma and Lall, 1997; Hossain *et al*., 2007; Phromkunthong *et al*., 2010a, b) การเสริมกรดอินทรีย์ในอาหารอาจสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปลาป่นที่อยู่ในรูปไตรแคลเซียมฟอสเฟต เช่น กระดูกหรือเกล็ดปลาได้ นอกจากนี้อาจช่วยเพิ่มการนำฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไฟเตทมาใช้ได้บางส่วน (Baruah *et al*., 2005; 2007; Sugiura *et al.,* 1998)

พีเอชในระบบทางเดินอาหารของปลาไนเมื่อได้รับกรดอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด แปรผกผันกับระดับพีเอชในอาหาร เช่น ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดแลกติก ซึ่งมีพีเอชในอาหารสูงที่สุด แต่พบว่า มีพีเอชในระบบทางเดินอาหารต่ำที่สุด เช่นเดียวกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดฟอร์มิก ซึ่งมีพีเอชในอาหารต่ำที่สุด แต่มีพีเอชในระบบทางเดินอาหารสูงที่สุด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเสริมกรดอินทรีย์ 1 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารปลาไนอาจเป็นระดับที่สูงเกินไป ส่งผลให้พีเอชในระบบทางเดินอาหารสูงกว่าปลาที่ไม่ได้รับกรดอินทรีย์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Vielma และ Lall (1997) ซึ่งพบการตอบสนองของปลาในรูปแบบเดียวกัน คือ เมื่อปลาได้รับกรดในระดับที่สูงจะทำให้พีเอชในระบบทางเดินอาหารของปลาเรนโบว์เทร้าท์สูงกว่าปลาที่ได้รับกรดอินทรีย์ในระดับต่ำ เช่น ปลาเรนโบว์เทร้าท์ที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดฟอร์มิก 4 มิลลิลิตร ต่อกิโลกรัมอาหาร มีพีเอชในระบบทางเดินอาหารต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดฟอร์มิก 10 มิลลิลิตร ต่อ กิโลกรัมอาหาร Sugiura และคณะ (1998) รายงานตรงกันว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกมีพีเอชในระบบทางเดินอาหารต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมกรดซิตริกและหากเสริมกรดซิตริกระดับสูงมากขึ้นจะทำให้ปลาตอบสนองโดยหลั่งไบคาร์บอเนตเพิ่มมากขึ้น (Sugiura *et al*., 2006) ซึ่งจะส่งผลให้มีพีเอชในระบบทางเดินอาหารสูงกว่าปลาที่ไม่ได้รับกรดซิตริก ดังนั้น พีเอชในระบบทางเดินอาหารอาจขึ้นอยู่กับระดับกรดอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการตอบสนองของปลาไน การเสริมกรดอินทรีย์ 1 เปอร์เซ็นต์ อาจสูงเกินสำหรับปลาไน ส่งผลให้ไม่สามารถลดระดับพีเอชในระบบทางเดินอาหารของปลาไนได้ และจากงานวิจัยของ Phromkunthong และคณะ (2010a) พบว่า ปลาไนที่ได้รับกรดซิตริก 0.22 เปอร์เซ็นต์ ควบคู่กับเอนไซม์ไฟเตสสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสให้สูงกว่าปลาที่ได้รับเอนไซม์ไฟเตสเพียงอย่างเดียว ขณะที่การศึกษาของ Phromkunthong และคณะ (2010b) ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน คือ เมื่อปลาไนได้รับกรดซิตริก 0.25 หรือ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ควบคู่กับเอนไซม์ไฟเตส ช่วยให้

ประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าปลาไนที่ได้รับเอนไซม์ไฟเตส จากการศึกษาทั้งสองงานวิจัยจะเห็นได้ว่า การเสริมกรดซิตริกเพียงประมาณ 0.25 ก็สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสให้สูงขึ้นได้ ซึ่งเหตุผลหนึ่งที่ได้อธิบายไว้ คือ กรดซิตริกอาจช่วยลดระดับพีเอชในระบบทางเดินอาหาร ซึ่งจะมีผลต่อการละลายของแร่ธาตุ

การทดลองที่ 1 พบว่า การเสริมกรดอินทรีย์ในอาหารปลาไนเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส โดยที่ไม่เสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตลงในอาหาร ส่งผลให้อาหารมีฟอสฟอรัสที่ปลานำไปใช้ประโยชน์ได้ไม่เพียงพอ ดังนั้นในการทดลองที่ 2 จึงเสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่าง ๆ เพื่อหาระดับต่ำที่สุดที่สามารถลดได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของปลาไน และการทดลองที่ 2 ได้ลดระดับของกรดซิตริกจาก 1 เปอร์เซ็นต์ เป็น 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ เพื่อหาระดับของกรดซิตริกต่ำสุดที่ยังส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของปลาไน

การทดลองที่ 2

จากการศึกษาอิทธิพลร่วมระหว่างการเสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 3 ระดับ คือ 0.37, 0.75 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริกที่ระดับ 0, 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ระดับกรดซิตริกและโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีอิทธิพลร่วมต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 3 ระดับ คือ 0, 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกมีแนวโน้มการเจริญเติบโตดีกว่าปลาที่ไม่ได้รับกรดซิตริก โดยเฉพาะปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ และไม่เสริมกรดซิตริก จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า กรดซิตริกสามารถช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตให้กับปลาไนได้ ถึงแม้จะลดระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตลงจาก 1.5 เป็น 0.75 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Saker และคณะ (2005) ที่ศึกษาในปลาเรดซีบรีม พบว่าการเสริมกรดซิตริกในอาหารสามารถลดการใช้อนินทรีย์ฟอสเฟตลงได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของปลา Hossian และคณะ (2007) พบว่า ปลาเรดซีบรีมที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 1 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่เสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต การเสริมกรดซิตริกในอาหารทำให้ปลาสามารถนำฟอสฟอรัสที่อยู่ในอาหารไปใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น เนื่องจากกรดซิตริกเป็นตัวคีเลทที่ดีส่งผลให้การดูดซึมแร่ธาตุใน

ระบบทางเดินอาหารเพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับพีเอชในระบบทางเดินอาหารมีแนวโน้มลดลงซึ่งจะไปช่วยเพิ่มการละลายของแร่ธาตุในอาหาร จึงทำให้สามารถนำฟอสฟอรัสในอาหารไปใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น และสามารถลดระดับอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมในอาหารลงเพื่อลดต้นทุนค่าอาหารลงได้ (Furia, 1972; Hossain *et al.,* 2007; Khajepour and Hosseini, 2012; Sarker *et al.,* 2007) อย่างไรก็ตาม การลดระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตจาก 1.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 0.75 เปอร์เซ็นต์ อาจมากเกินไป จึงทำให้ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ แสดงการขาดฟอสฟอรัสให้เห็น เช่น โปรตีนในตัวปลาลดต่ำลง ขณะที่ไขมันเพิ่มสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ และเสริมกรดอินทรีย์มีผลในเชิงลบต่อการเจริญเติบโต ซึ่งจากการทดลองที่ 2 พบว่า เมื่อฟอสฟอรัสในอาหารไม่เพียงพอกับความต้องการ ปลาที่ได้รับอาหารที่มีสภาพเป็นกรดสูงมีแนวโน้มที่การเจริญเติบโตน้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ ทั้งนี้อาจเกิดจากปลาต้องสูญเสียพลังงานในการหลั่งไบคาร์บอเนต (bicarbonate) เพื่อปรับพีเอชในระบบทางเดินอาหารให้เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ (Sugiura *et al.,* 2006)

ประสิทธิภาพการใช้อาหารของการทดลองที่ 2 พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างระดับกรดซิตริกและระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ แต่มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิของปลาไน คือ ระดับอนินทรีย์ฟอสเฟต โดยพบว่า ปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิสูงกว่าปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 และ 0.37 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งวุฒิพร และคณะ (2551) กล่าวว่า เมื่อปลาได้รับฟอสฟอรัสในอาหารสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิสูงขึ้นเพราะปลานำฟอสฟอรัสไปใช้เพื่อสร้างพลังงานร่วมกับไขมันได้สูงขึ้น ส่งผลให้ปลานำโปรตีนไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น (นิวดี, 2552; Phromkunthong *et al*., 2010a, b) สำหรับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกทั้ง 2 ระดับ (0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์) มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำลง และเห็นได้ชัดเจนในปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกมีแนวโน้มที่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมกรดซิตริก โดยเฉพาะปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจเกิดจากปลาที่ได้รับกรดซิตริกสามารถนำฟอสฟอรัสในอาหารไปใช้ได้ดีกว่าปลาที่ไม่ได้กรดซิ

ตริก สอดคล้องกับ นิวดี (2552) ที่พบว่า ปลาไนที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสสูง มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสต่ำ

องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาของการทดลองที่ 2 พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มช่วยเพิ่มความชื้น โปรตีน เถ้า และฟอสฟอรัสในตัวปลาให้สูงกว่าปลาที่ไม่ได้รับกรดซิตริก จากผลการทดลอง พบว่า ระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตและระดับกรดซิตริกมีอิทธิพลร่วมต่อโปรตีนและไขมันในตัวปลา แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมต่อความชื้น เถ้า และฟอสฟอรัสในตัวปลา ซึ่งเมื่อพิจารณาโปรตีนและไขมันในตัว พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีไขมันและโปรตีนในตัวไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ แต่พบว่า มีแนวโน้มที่ไขมันในตัวต่ำกว่าและโปรตีนในตัวสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารอาหารที่ไม่เสริมกรดซิตริก ซึ่งอาจอธิบายได้ว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ นำฟอสฟอรัสไปใช้ได้สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมกรดซิตริก โดยพิจารณาจากเถ้าและฟอสฟอรัสในตัวปลา ที่พบว่า ปลาที่ได้รับกรดซิตริกมีแนวโน้มสูงกว่าปลาที่ไม่ได้รับกรดซิตริก ซึ่งหลายงานวิจัยกล่าวตรงกันว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสสูงจะมีโปรตีนในตัวต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสในปริมาณที่ต่ำ (นิวดี, 2552; วุฒิพร และคณะ, 2551; Takeuchi *et al.,* 2002) สำหรับการลดระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตจาก 1.5 เป็น 0.75 เปอร์เซ็นต์ ควบคู่กับการเสริมกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้จะไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตมากนัก แต่พบว่า ส่งผลให้องค์ประกอบทางเคมีของปลาแตกต่างจากการเสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะไขมันในตัวปลาที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่า หากมีไขมันในตัวสูงจะทำให้ปลามีราคาต่ำลง

ประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสในอาหาร จากการทดลองที่ 2 พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างระดับกรดซิตริกและระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีผลต่อฟอสฟอรัสในตัว ฟอสฟอรัสในกระดูก การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง และเถ้าในกระดูก โดยปลาที่ได้รับกรดซิตริกทั้ง 2 ระดับ คือ 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มที่ฟอสฟอรัสในตัวปลา เถ้าในตัวปลา ฟอสฟอรัสในกระดูก การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง ดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมกรดซิตริก โดยเฉพาะในอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่า เมื่อปลาได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ แต่สูงกว่าสูตรที่ไม่เสริมกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่ากรดซิตริกสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสให้กับปลาได้ (Baruah *et al*., 2005; 2007; Sugiura *et al.,* 1998) อย่างไรก็ตาม ปลาที่ได้รับอาหารที่

เสริมกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Khajepour และ Hosseini (2012) พบว่า ปลาเบลูก้าที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 1 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ แต่ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 2 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับกรดซิตริก 3 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Phromkunthong และคณะ (2010b) พบว่า ปลาไนที่ได้รับอาหารที่เสริมเอนไซม์ไฟเตสควบคู่กับกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมเอนไซม์ไฟเตสควบคู่กับกรดซิตริก 0.5 เปอร์เซ็นต์ เช่น เถ้าในตัว ฟอสฟอรัสในตัว ประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ เนื่องจากระดับกรดซิตริกที่มากกว่าจะแตกตัวได้เป็นซิเตรทและไปจับกับแคทไอออนได้มากกว่า (ประดิษฐ์, 2545) แต่หากระดับกรดซิตริกมากเกินไปจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการเสริมกรดซิตริกในระดับที่เหมาะสม เพราะกรดซิตริกในระดับที่เหมาะสมอาจเพียงพอที่จะจับกับไอออนของแร่ธาตุที่ละลายอยู่ในระบบทางเดินอาหาร และการเสริมกรดซิตริกมากเกินไปจะส่งผลในเชิงลบต่อการเจริญเติบโต และพีเอชในระบบทางเดินอาหาร ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ระดับกรดซิตริกที่เหมาะสมสำหรับปลาไน คือ 0.1 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการลดระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารจาก 1.5 เป็น 0.75 เปอร์เซ็นต์ และเสริมควบคู่กับกรดซิตริก พบว่า มีแนวโน้มที่ค่าฟอสฟอรัสในกระดูก เถ้าในกระดูก การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย ไม่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปลาสามารถนำฟอสฟอรัสในอาหารไปใช้สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ปลาไนยังแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสให้เห็นดังเช่นกล่าวในประเด็นเรื่องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา (ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้าในตัวปลา)

พีเอชในระบบทางเดินอาหารของปลาไน จากการทดลองที่ 2 พบว่า สอดคล้องกับการทดลองที่ 1 คือ เมื่อปลาได้รับอาหารที่มีพีเอชต่ำเกินไป จะทำให้พีเอชในระบบทางเดินอาหารของปลาสูงขึ้น ซึ่งการทดลองครั้งนี้ พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีพีเอชในระบบทางเดินอาหารต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมกรดซิตริก แสดงให้เห็นว่าการเสริมกรดในอาหารช่วยลดระดับพีเอชในระบบทางเดินอาหารได้จริง โดยต้องเสริมในระดับที่เหมาะสม ซึ่งการเสริมกรดซิตริกในปริมาณที่สูงเกินไปจะส่งผลให้ปลาตอบสนองด้วยการหลั่งไบคาร์บอเนตเพิ่มมากขึ้น (Sugiura *et al.,* 1998; Vielma and Lall, 1997) ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถลดระดับพีเอชในระบบทางเดินอาหารปลาลงได้ และกลับยิ่งส่งผลให้ปลาเกิดความเครียดมากยิ่งขึ้น

ต้นทุนค่าอาหารของปลาที่ได้รับอาหารการทดลองที่ 2 พบว่า การลดระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตจาก 1.5 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.75 และ 0.37 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ต้นทุนค่าอาหารลดลงประมาณ 0.15 บาท และ 0.23 บาท และเมื่อคิดต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิต พบว่า ต้นทุนค่าอาหารของปลาที่ได้อาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตได้ต่ำที่สุด โดยต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์และไม่เสริมกรดซิตริก ประมาณ 2 บาท การลดระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตจาก 1.5 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.75 เปอร์เซ็นต์ และเสริมกรดซิตริก ถึงแม้จะสามารถลดต้นทุนราคาอาหารต่อกิโลกรัม ลงได้ แต่ไม่อาจทำให้ปลาได้รับฟอสฟอรัสเพียงพอกับความต้องการ ทำให้ปลามีอัตราการกินอาหารเพิ่มมากขึ้น เป็นสาเหตุให้ไม่สามารถลดต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตได้เท่าที่ควรและอาจทำให้ราคาปลาที่ได้ต่ำกว่าปกติ เนื่องจากไขมันในตัวปลาเพิ่มสูงขึ้น

จากการศึกษาทั้ง 2 การทดลองแสดงให้เห็นว่า กรดซิตริกสามารถช่วยให้ปลาไนนำฟอสฟอรัสในอาหารไปใช้ได้เพิ่มสูงขึ้น โดยระดับกรดซิตริกที่เหมาะสมสำหรับปลาไนอาจอยู่ประมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์ การลดระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตจาก 1.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 0.75 เปอร์เซ็นต์ และเสริมควบคู่กับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปลามีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์และไม่เสริมกรดซิตริก อย่างไรก็ตาม พบว่า ปลามีแนวโน้มที่การเจริญเติบโตต่ำกว่า ซึ่งอาจเป็นเพราะปลายังขาดฟอสฟอรัส โดยพิจารณาจากค่าองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา เช่น ไขมันที่เพิ่มสูงขึ้น และโปรตีนที่ลดต่ำลง ดังนั้น จึงควรลดระดับโมโนโซเดียมในอาหารให้อยู่ในช่วงที่มากกว่า 0.75 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การทดลองที่ 1

จากการศึกษากรดอินทรีย์ 4 ชนิด คือ กรดซิตริก กรดฟอร์มิก กรดแลกติก และกรดทาร์ทาริก พบว่า การเสริมกรดอินทรีย์ในอาหารมีแนวโน้มช่วยทำให้ปลามีประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสดีขึ้น เมื่อพิจารณาจากพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกมีฟอสฟอรัสในตัวปลาสูงที่สุดและฟอสฟอรัสในมูลต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับกรดอินทรีย์ชนิดอื่น นอกจากนี้ยังพบว่าปลาที่ได้รับกรดซิตริกมีเถ้าในตัวปลา เถ้าในกระดูก และประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสมีแนวโน้มสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์ชนิดอื่นแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ สำหรับฟอสฟอรัสในกระดูก การสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง พบว่า ปลาที่ได้รับกรดแลกติกมีค่าดีที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริก ยกเว้น การสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายที่สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญ กรดอินทรีย์ที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ อาจเป็นระดับที่สูงเกินไปสำหรับปลาไน ส่งผลให้พีเอชในระบบทางเดินอาหารแปรผกผันกับพีเอชในอาหาร การเสริมกรดอินทรีย์ 1 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตไม่สามารถทำให้ปลาได้รับฟอสฟอรัสที่เพียงพอกับความต้องการส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตต่ำกว่าปกติ นอกจากนี้ยังทำให้ปลามีอัตราการกินอาหาร และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงขึ้น

การทดลองที่ 2

จากการทดลองลดระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟต (1.5, 0.75 และ 0.37 เปอร์เซ็นต์) ร่วมกับการใช้กรดซิตริกที่ระดับต่าง ๆ (0, 0.1 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์) พบว่า การเสริมกรดซิตริกช่วยให้ปลานำฟอสฟอรัสในอาหารไปใช้ได้มากขึ้น โดยปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มการเจริญเติบโตและการนำฟอสฟอรัสในอาหารไปใช้เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ไม่ได้รับกรดซิตริกและสูตรอื่น ๆ การลดระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารจาก 1.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 0.75 เปอร์เซ็นต์ และ 0.37 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปลาได้รับฟอสฟอรัสในอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต แต่เมื่อมี

การเสริมกรดซิตริกในอาหารทำให้ปลานำฟอสฟอรัสในอาหารไปใช้ได้มากขึ้น โดยเฉพาะปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปลามีการเจริญเติบและประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์และไม่เสริมกรดซิตริก อย่างไรก็ตามปลามีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่าและปลายังแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสให้เห็น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการลดระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตจาก 1.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 0.75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการเสริมกรดซิตริกไม่สามารถทำให้ปลาได้รับฟอสฟอรัสที่เพียงพอถึงแม้กรดซิตริกจะช่วยเพิ่มการนำฟอสฟอรัสในอาหารไปใช้ได้มากขึ้น สำหรับระดับพีเอชในระบบทางเดินอาหารของปลา พบว่า หากเสริมกรดซิตริก 0.25 เปอร์เซ็นต์ อาจเป็นปริมาณที่มากเกินไปและส่งผลให้ระดับพีเอชสูงกว่าปลาที่ได้รับกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.37 เปอร์เซ็นต์ และเสริมกรดซิตริก 0 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลในเชิงลบต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของปลาไน

ข้อเสนอแนะ

การลดระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตร่วมกับการเสริมกรดซิตริกทำให้ปลามีประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมกรดซิตริก แต่การลดระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตจาก 1.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 0.75 เปอร์เซ็นต์ อาจมากเกินไปส่งผลให้ปลาได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอ ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปควรลดระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตให้อยู่ในช่วง 0.75-1.5 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการเสริมกรดซิตริก 0.1 เปอร์เซ็นต์

เอกสารอ้างอิง

จิรวัฒน์ ทัดแก้ว. 2549. การผลของเอนไซม์ไฟเตสต่อประสิทธิภาพการย่อยอาหารในวัตถุดิบพืช 5 ชนิด ในปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus x O. mossambicus*). วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชนิตา พงษ์ลิมานนท์. 2542. เคมีอินทรีย์เบื้องต้น. สงขลา: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

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

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2531. เคมีอินทรีย์พื้นฐาน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

ดนัยศักดิ์ เย็นใจ. 2550. ผลของการเติมกรดอินทรีย์ในน้ำดื่มต่อสมรรถภาพการผลิต สรีรวิทยาในระบบทางเดินอาหาร และจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคในไก่กระทง. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดาวัลย์ ฉิมภู่. 2548. ชีวเคมี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เมฆ บุญพราหมณ์. 2530. การเลี้ยงปลา. กรุงเทพฯ: คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นงพงา นามแสน. 2551. ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ (กรดฟูมาริกและกรดมาลิก) ในสูตรอาหารผสมสำเร็จต่อกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนและผลผลิตของโค. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นิวดี สาหีม. 2552. ความต้องการฟอสฟอรัสและการใช้ประโยชน์จากอนินทรีย์ฟอสเฟตในปลาไน (*Cyprinus carpio*). วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นฤมล อัศวเกศมณี. 2550. การเลี้ยงปลาน้ำจืด. สงขลา: คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.

ประดิษฐ์ มีสุข. 2545. เคมีอินทรีย์เบื้องต้น. สงขลา: การผลิตเอกสารและตำรา มหาวิทยาลัยทักษิณ.

พิมพ์จิต ดามพวรรณ. 2536. เคมีอินทรีย์เบื้องต้น. สงขลา: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

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

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2536. การเพาะพันธุ์ปลา. ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

วุฒิพร พรหมขุนทอง. 2541. โภชนศาสตร์สัตว์น้ำ. เอกสารคำสอนวิชา อาหารสัตว์น้ำเบื้องต้น. สงขลา: คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วุฒิพร พรหมขุนทอง., อนุรักษ์ เขียวขจรเขต. และ กิจการ ศุภมาตย์. 2551. ผลของโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*). วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง 2(2): 9-32.

สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย. 2555. ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์. เข้าถึงได้จาก http://www.thaifeedmill.com/%E0 %B8%A3%E0 %B8%B2%E0 %B8%84%E0 %B8 %B2/tabid/78/Default.aspx. เข้าถึงเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2555.

อัจฉริยา มูสโกภาศ. 2547. ผลของเอนไซม์ไฟเตสและอนินทรีย์ฟอสเฟตในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสจากวัตถุดิบพืชในอาหารปลาดุกพันธุ์ผสม [*Clarias macrocephalus* (Gunther) X *C. gariepinus* (Burchell)] และปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus x O. mossambicus*). วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Adeola, O. and Sands, J.S. 2003. Does supplemental dietary microbial phytase improve amino acid utilization? A perspective that it does not. Journal of Animal Science 81: E78-E85.

Andrews, J.W., Murai, T. and Campbell, C. 1973. Effects of dietary calcium and phosphorus on growth, food conversion, bone ash and hematocrit levels of catfish. The Journal of Nutrition 103: 766-771.

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

Baruah, K., Pal, A.K., Sahu, N.P., Jain, K.K., Mukherjee, S.C. and Debnath, D. 2005. Dietary protein level, microbial phytase, citric acid and their interactions on bone

mineralization of *Labeo rohita* (Hamilton) juveniles. Aquaculture Research 36: 803-812.

Baruah, K., Sahu, N.P., Pal, A.K., Jain, K.K., Debnath, D. and Mukherjee, S.C. 2007. Dietary microbial phytase and citric acid synergistically enhances nutrient digestibility and growth performance of *Labeo rohita* (Hamilton) juveniles at sub-optimal protein level. Aquaculture Research 38: 109-120.

Berg, L.S. 1974. Classification of fishes both recent and fossil. Michigan: J.W. Edward Co.

Blaxhall, P.C. and Daisley, K.W. 1973. Routine hematological methods for use with fish blood. Journal of Fish Biology 5: 771-781.

Boling, S.D., Webel, D.M., Mavromichalis, I., Parsons, C.M. and Baker, D.H. 2000. The effects of citric acid on phytate-phosphorus utilization in young chicks and pigs. Journal of Animal Science 78: 682-689.

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

Brenes, A., Viveros, A., Arija, I., Centeno, C., Pizarro, M. and Bravo, C. 2003. The effect of citric acid and microbial phytase on mineral utilization in broiler chicks. Animal Feed Science and Technology 110: 201-219.

Brafield, A.E. and Koodie, A.V. 1994. The effect of high dietary zinc on trypsin activity in carp (*Cyprinus carpio*). Journal of Fish Biology 45: 169-172.

Bureau, D.P., Kaushik, S.J. and Cho, C.Y. 2002. Bioenergetics. *In:* Fish Nutrition. 3 Edition. Halver, J.E. and Hardy, R.W. (eds.), San Diego: Academic press.

Chimsung, N., Boonmanee, A., Songsrioon, W., Thaitabak, S. and Chotipuntu, P. 2005. Use of fish processing waste as protein source in diet for Nile tilapia (*Orechromis niloticus*). Songklanakarin Journal of Science and Technology 27(Suppl. 1): 141-149.

Ciofalo, V., Barton, N., Kretz, K., Baird, J., Cook, M. and Shanahan, D. 2003. Safety evaluation of a phytase, expressed in Schizosaccharomyces pombe, intended for use in animal feed. Regulatory Toxicology and Pharmacology 37: 286-292.

Clark, J.S. 1989. The mineral requirement of finfish: A review. *In*: Proceeding of the People Republic of China Aquaculture and Feed Workshop. September 17-30.

Coloso, R.M., King, K., Fletcher, J.W., Hendrix, M.A., Subramanyam, M., Weis, P. and Ferraris, R.P. 2003. Phosphorus utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed practical diets and its consequences on effluent phosphorus levels. Aquaculture 220: 801-820.

Crawford, R.D. 1995. Proposed Role for a Combination of Citric Acid and Ascorbic Acid in the Production of Dietary Iron Overload: A Fundamental Cause of Disease. Biochemical and Molecular Medicine 54: 1-11.

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

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

Dibner, J. J. and Buttin, P. 2002. Use of organic acids as a model to study the impact of gut microflora on nutrition and metabolism. The Journal of Applied Poultry Research 11: 453-463.

Duncan, D.B. 1955. Multiple-rage 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. Technical papers of the Bureau of Sport Fisheries and Wildlife 9: 1-21.

Furia, T.E. 1972. CRC Handbook of Food Additives. 2nd edition. Chemical Rubber Company, Cleveland, USA.

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. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 32: 502-506.

Halver, J.E. and Hardy, R.W. 2002. Fish Nutrition. 3nd edition. Academic Press, San Diego, USA, 824 pp.

Hardy, R.W. and Barrows, F.T. 2002. Diet Formulation and Manufacture. *In*: Fish Nutrition. 3 Edition. Halver, J.E. and Hardy, R.W. (eds.), Academic press. San Diego, USA,

Hossain, M.A., Pandey, A. and Satoh, S. 2007. Effects of organic acids on growth and phosphorus utilization in red sea bream *Pagrus major*. Fisheries Science 73: 1309-1317.

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.

Jongbloed, A.W. 1987. Phosphorus in the feeding of pigs. Effects of diet on absorption and retention of phosphorus by growing pigs. Ph.D. thesis, Report IVVODLO. Nr. 179, Lelystad, The Netherlands.

Jongbloed, A.W., Mroz, Z., van der Weij-Jongbloed, R., and Kemme, P.A. 2000. The effects of microbial phytase, organic acids and their interaction in diets for growing pigs. Livestock Production Science 67: 113-122.

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

Khajepour, F.and Hosseini, S.A. 2012. Calcium and phosphorus status in juvenile Beluga (*Huso huso*) fed citric acid-supplemented diets. Aquaculture Research 43: 407-411.

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.

Kotorman, M., Laszlo, K., Nemcsok, J. and Simon, L. M. 2000. Effects of Cd^{2+}, Cu^{2+}, Pb^{2+} and Zn^{2+} on activities of some digestive enzymes in carp (*Cyprinus carpio* L.). Journal of Environmental Science and Health A 35: 1517–1526.

Lall, S.P. 1991. Digestibility, metabolism and excretion of dietary phosphorus in fish. Nutritional strategies and aquaculture waste. Proceedings of the first international symposium on nutritional strategies in management of aquaculture waste.

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.

Lovell, R.T. 1978. Dietary Phosphorus Requirement of Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*). Transactions of the American Fisheries Society 107: 617-621.

Lovell, R.T. 1989. Nutrition and feeding of fish. New York: Van Nostrand Reinhold.

Lovell, R.T. 1991. Nutrition of aquaculture species. Journal of Animal Science 69: 4193-4200.

Lewbart, G. 2001. Anesthesia, Analgesia, and Surgery in Pet Fish. Atlantic Coast Veterinary Conference 2001 October 9 - 11, 2001 Atlantic City, New Jersey.

Misra, D.N. 1996. Interaction of citric acid with hydroxyapatite: surface exchange of ions and precipitation of calcium citrate. Journal of Dental Research. 75: 1418-1425.

NRC, National Research Council. 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Washington DC, 114 pp.

Pak, C.Y.C., Harvey, J.A., and HSU, M.C. 1987. Enhanced calcium bioavailability from a solubilized form of calcium citrate. Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism 65: 801-805.

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

Phromkunthong, W., Nuntapong, N. and Gabaudan, J. 2010a. Interaction of phytase RONOZYME®P(L) and citric acid on the utilization of phosphorus by common carp (*Cyprinus carpio*). Songklanakarin Journal of Science and Technology 32: 547-554.

Phromkunthong, W., Tudkaew, J., and Gabaudan, J. 2010b. Study on the effects of phytase RONOZYME® NP (CT) and citric acid on the growth and the utilization of phosphorus by common carp (*Cyprinus carpio*). Proceedings of the International

conference on Bitechnology for Healthy Living, Trang, Thailand, 20-22 October 2010.

Rafacz-Livingston, K.A., Martinez-Amezcua, C., Parsons, C.M., Baker, D.H. and Snow, J. 2005. Citric acid improves phytate phosphorus utilization in crossbred and commercial broiler chicks. Poultry Science 84: 1370-1375.

Ravindran, V. and Kornegay, E.T. 1993. Acidification of weaner pig diets: A review. Journal of the Science of Food and Agriculture 62: 313-322.

Robinson, E.H. and Wilson, R.P. 1985. Nutrition and feeding. *In*: Tucker, C.S. (ed.), channel catfish culture. Development in Aquaculture and Fisheries Science 15: 323 – 404.

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

Sarker, M.S.A., Satoh, S., Kamata, K., Haga, Y. and Yamamoto, Y. 2012a. Partial replacement of fish meal with plant protein sources using organic acids to practical diets for juvenile yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. Aquaculture Nutrition 18: 81-89.

Sarker, M.S.A., Satoh, S., Kamata, K., Haga, Y. and Yamamoto, Y. 2012b. Supplementation effect(s) of organic acids and/or lipid to plant protein-based diets on juvenile yellowtail, *Seriola quinqueradiata* Temminck et Schlegel 1845, growth and, nitrogen and phosphorus excretion. Aquaculture Research 43: 538-545.

Sarker, M.S. A., Satoh, S. and Kiron, V. 2005. Supplementation of citric acid and amino acid-chelated trace element to develop environment-friendly feed for red sea bream, *Pagrus major.* Aquaculture 248: 3-11.

Sarker, M.S.A., Satoh, S. and Kiron, V. 2007. Inclusion of citric acid and/or amino acid-chelated trace elements in alternate plant protein source diets affects growth and excretion of nitrogen and phosphorus in red sea bream *Pagrus major*. Aquaculture 262: 436-443.

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

Sugiura, S.H., Dong, F.M. and Hardy, R.W. 1998. Effects of dietary supplements on the availability of minerals in fish meal; preliminary observations. Aquaculture 160: 283-303.

Sugiura, S.H., Roy, P.K. and Ferraris, R.P. 2006. Dietary acidification enhances phosphorus digestibility but decreases H^+/K^+-ATPase expression in rainbow trout. Journal of Experimental Biology 209: 3719-3728.

Storebakken, T., Shearer, K.D. and Roem, A.J. 1998. Availability of protein, phosphorus and other elements in fish meal, soy-protein concentrate and phytase treated soy-protein concentrate based diets to Atlantic salmon, *Salmo salar*. Aquaculture 161: 365-379.

Takeuchi, M. and Nakakzoe. 1981. Effect of dietary phosphorus on lipid content and its composition in carp. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 3: 347-352.

Takeuchi, T., Watanabe, T. and Ogino, C. 1979. Optimum ratio of dietary energy to protein for carp. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 45: 983-987.

Takeuchi, T., Satoh, S. and Kiron, V. 2002. Common 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. 55-67.

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

Vielma, J., Ruohonen, K. and Lall. 1999. Supplemental citric acid and particle size of fish bone-meal influence the availability of minerals in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). Aquaculture Nutrition 5: 65-71.

Vielma, J. and Lall, S.P. 1997. Dietary formic acid enhances apparent digestibility of minerals in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). Aquaculture Nutrition 3: 265-268.

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.

Watanabe, T., Takeuchi, T., Murakami, A. and Ogino, C. 1980a. The availability to *Tilapia niloticus* of phosphorus in white fishmeal. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 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. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 46: 361-367.

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

Wood, R. J. and Serfaty-Lacrosniere, C. 1992. Gastric acidity, atrophic gastritis, and calcium absorption. Nutrition Reviews 50: 33-40.

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. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 41: 73-77.

Yeannes, M.A.I. and Almandos, M.A.E. 2003. Estimation of fish proximate composition starting from water content. Journal of Food Composition and Analysis 16: 81-92.

Zyla, K., Ledoux, D.R., Garcia, A. and Veum, T. L. 1995. An in vitro procedure for studying enzymic dephosphorylation of phytate in maiz-soyabean feeds for turkey poults. British Journal of Nutrition 74: 3-17.

ภาคผนวก

วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในวัตถุดิบอาหาร อาหาร และตัวปลา

1. การวิเคราะห์ความชื้น (ตามวิธีการของ AOAC, 1990)

1.1 นำขวดชั่งเข้าตู้อบอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที และใส่ในโถดูดความชื้น

1.2 ชั่งและบันทึกน้ำหนักของขวดชั่งโดยละเอียด

1.3 ชั่งตัวอย่างใส่ขวดชั่งประมาณ 1 กรัม และบันทึกน้ำหนักอย่างละเอียด

1.4 นำตัวอย่างเข้าตู้อบ โดยใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

1.5 นำตัวอย่างที่อบแล้วใส่โถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น บันทึกน้ำหนักของตัวอย่าง

1.6 ทำซ้ำตามข้อ 1 ถึง 5 จนกระทั่งน้ำหนักที่ได้คงที่ โดยน้ำหนักที่หายไป คือ น้ำหนักของความชื้น

คำนวณ % ความชื้นด้วยสมการ

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

เมื่อ *a = น้ำหนักของอาหารและขวดชั่งก่อนอบแห้ง (กรัม)*

b = น้ำหนักของอาหารและขวดชั่งหลังอบแห้ง (กรัม)

w = น้ำหนักของอาหารก่อนอบ (กรัม)

2. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ตามวิธีการของ AOAC, 1990)

2.1 ชั่งตัวอย่างอาหาร 2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ

2.2 นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2.3 นำเข้าโถอบแห้ง เพื่อให้ดูดความชื้น เมื่อตัวอย่างอาหารเย็นดีแล้วนำไปชั่งทันที

คำนวณ % เถ้าด้วยสมการ

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

เมื่อ a = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ

b = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบกับน้ำนักของเถ้าภายหลังการเผา

w = น้ำหนักของอาหารก่อนเผา

3. การวิเคราะห์หาโปรตีน (ตามวิธีการของ AOAC, 1990)

สารเคมี

3.1 กรดซัลฟูริก (sulfuric acid, H_2SO_4) เข้มข้น 93 - 98 เปอร์เซ็นต์

3.2 สารเร่งรวม (catalyst mixture) เตรียมโดย ชั่งคอปเปอร์ซัลเฟต (copper sulfate, $CuSO_4$) 7 กรัม กับโพแตสเซียมซัลเฟต (potassium sulfate, K_2SO_4) 100 กรัม ผสมให้เข้ากัน

3.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 45 เปอร์เซ็นต์ (sodium hydroxide, NaOH) เตรียมโดย ละลาย 450 กรัมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ชนิดเกล็ดลงในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร

3.4 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล เตรียมโดย ละลายกรดเกลือ 9 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

3.5 กรดบอริค (boric acid, H_3BO_3) 4 เปอร์เซ็นต์ เตรียมโดย ต้มน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ให้ร้อนแล้วใส่ผงกรดบอริคลงไป 40 กรัม ต้มจนละลายหมด ทิ้งไว้จนสารละลายเย็นลงแล้วจึงเติมน้ำกลั่นให้ครบ 1000 มิลลิลิตร

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

3.7 เมทิลออเรนจ์ อินดิเคเตอร์ (methyl orange indicator) เตรียมโดยละลายเมทิลออเรนจ์ 0.1 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

3.8 สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate, Na_2CO_3) 0.1 นอร์มอล เตรียมโดย อบโซเดียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 260 - 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ชั่งสารมา 1.325 กรัม เติมน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร

วิธีการ

ก. ขั้นตอนการย่อย (digestion)

1. ชั่งตัวอย่างอาหารให้ได้น้ำหนักประมาณ 1 กรัม โดยชั่งด้วยกระดาษกรองที่ปราศจากสารไนโตรเจนแล้วใส่ในขวดแก้ววิเคราะห์โปรตีน

2. เติมสารเร่งรวม 10 กรัม เพื่อเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาการย่อย

3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร

4. นำไปย่อยด้วยชุดเครื่องย่อยโปรตีน ที่อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส กระทั่งสารละลายในขวดแก้ววิเคราะห์โปรตีนเป็นสีเขียวมรกตและใส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

ข. ขั้นตอนการกลั่น (distillation)

1. เมื่อสารละลายเย็นดีแล้ว จึงเติมน้ำกลั่นลงไปให้ได้ปริมาตรประมาณ 300 มิลลิลิตร

2. ใส่ลูกแก้ว 2 ลูก เพื่อป้องกันการกระแทกของสารละลาย

3. ต่อขวดแก้ววิเคราะห์โปรตีนเข้ากับเครื่องกลั่นที่มีขวดปากแคบวัดปริมาตร ซึ่งมีกรดบอริค 40 มิลลิลิตรอยู่ โดยให้ปลายของหลอดแก้วที่ต่อจากกระบอกแก้วควบแน่นจุ่มอยู่ในกรดบอริค เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในขวดแก้ววิเคราะห์ช้าๆ จนกระทั่งสารละลายมีสีดำ

4. ใส่อินดิเคเตอร์ในกรดบอริค 2 - 3 หยด

5. ทำการกลั่นจนกระทั่งไม่มีแก๊สแอมโมเนียออกมาแล้วทำการกลั่นต่อไปอีก 10 นาที แล้วล้างปลายเครื่องกลั่นด้วยน้ำกลั่น นำขวดปากแคบวัดปริมาตรออกจากเครื่องกลั่น

ค. ขั้นตอนการไตเตรท (titration)

1. นำไปไตเตรทด้วยกรดเกลือมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น (0.1 นอร์มอล) จนถึงจุดยุติ (end point) โดยใช้อินดิเคเตอร์รวม สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินอ่อน

2. จดปริมาตรของกรดเกลือไว้เพื่อคำนวณต่อไป

การคำนวณ

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

เมื่อ V_1 = ปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง

V_2 = ปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ใช้ไตเตรทตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบ

N = เป็นความเข้มข้นของกรดเกลือเป็นนอร์มอล

W = น้ำหนักตัวอย่างอาหาร

การตรวจหาความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือมาตรฐาน

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

$$N_1V_1 = N_2V_2$$

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายที่จะปรับค่า N_2= ความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการ

V_1 = ปริมาตรของสารละลายที่จะปรับค่า V_2= ปริมาตรของสารละลายที่ต้องการ

4. การวิเคราะห์หาไขมัน (ใช้เครื่อง Soxtec System HT6)

สารเคมี

ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)

วิธีการ

4.1 อบถ้วยพร้อมลูกแก้ว ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 8 ชั่วโมงทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

4.2 อบตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

4.3 ชั่งน้ำหนักถ้วยพร้อมลูกแก้ว (w_1)

4.4 ชั่งตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ใส่กระดาษกรองประมาณ 1 - 2 กรัม (w_2) ห่อให้มิดชิดใส่ลงในไส้กรอง (thimble) ที่เตรียมไว้ นำไปใส่เข้าเครื่อง Soxtec System HT6

4.5 นำถ้วยพร้อมลูกแก้วที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้วมาเติมไดคลอโรมีเทนปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วใส่เข้าเครื่องให้เรียบร้อย

4.6 เปิดเครื่อง ปรับอุณหภูมิไปที่ 130 องศาเซลเซียส เปิดน้ำเข้าเครื่อง เปิดวาล์ว เลื่อนปุ่มไปที่ boiling ต้มให้เดือด 30 นาที

4.7 เลื่อนปุ่มไปที่ rinsing เพื่อล้างตัวอย่าง 20 นาที

4.8 ปิดวาล์ว เปิดสวิทซ์อากาศ เลื่อนปุ่มไปที่ evaporation เพื่อให้สารระเหยออกไป 5 นาที

4.9 ปิดเครื่อง อากาศและน้ำ แล้วเลื่อนปุ่ม evaporation กลับที่เดิม นำถ้วยออกจากเครื่อง แล้วนำไปอบที่ 100 องศาเซลเซียสจนแห้ง

4.10 นำถ้วยออกมาใส่โถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก (w_3)

การคำนวณหา % ไขมัน

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

เมื่อ w_1 = น้ำหนักถ้วยพร้อมลูกแก้ว

w_2 = น้ำหนักตัวอย่าง

w_3 = น้ำหนักถ้วยพร้อมลูกแก้วและไขมันหลังอบ

5. การวิเคราะห์หาฟอสฟอรัส (ตามวิธีการของ AOAC, 1990)

สารเคมี

5.1 กรดสำหรับย่อยตัวอย่าง: เตรียมโดยการชั่งแอมโมเนียมเมตาวานาเดท (ammonium metavanadate, NH_4VO_3) 0.06 กรัมละลายในน้ำที่ปราศจากไอออน (deionized water) ซึ่งเดือดประมาณ 10 มิลลิลิตร วางไว้ให้เย็นแล้วจึงเทลงในส่วนผสมของกรดสองชนิด คือ กรดเปอร์คลอริค (perchloric, $HClO_4$) เข้มข้น (70-72%) ปริมาตร 250 มิลลิลิตร และกรดไนตริก (nitric acid, HNO_3) เข้มข้น (65 %) ปริมาตร 1,250 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

5.2 สารละลายวานาโดโมลิบเดท (vanadomolybdate): เตรียมโดย

5.2.1 นำแอมโมเนียมโมลิบเดท (ammonium molybdate): 40 กรัม ละลายในน้ำเดือดที่ปราศจากไอออนซึ่งมีปริมาตร 400 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ให้เย็น

5.2.2 นำแอมโมเนียมเมตาวานาเดท: 2 กรัม ละลายในน้ำเดือดที่ปราศจากไอออน ซึ่งมีปริมาตร 300 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ให้เย็น เติมกรดไนตริกเข้มข้น 160 มิลลิลิตร

5.2.3 ผสมสารละลายในข้อ 5.2.2 ลงในสารละลายในข้อ 5.2.1 ปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนให้ได้ 1000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เมื่อนำไปใช้จะเจือจางสารละลายข้างต้นด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนในอัตราส่วน (วานาโดโมลิบเดท : น้ำ) 1:3

5.3 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (standard phosphorus) 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร: เตรียมโดยละลายโพแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (potassium dihydrogen phosphate, KH_2PO_4) ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ปริมาณ 4.380 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออนปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

5.4 เวิร์คกิ้ง สแตนดาร์ด ฟอสฟอรัส (working standard phosphorus) ความเข้มข้น 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร: เตรียมโดยนำสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร (จากข้อ 3) ปริมาตร 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมกรดเปอร์คลอริคเข้มข้น 20 % ปริมาตร 20 มิลลิลิตร (กรดเปอร์คลอริคเข้มข้น 20 % เตรียมโดยละลายกรดเปอร์คลอริคเข้มข้น (70–72 %) ปริมาตร 282 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออนให้ครบ 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส ที่มีความเข้มข้น 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร

วิธีการ

. ก. ขั้นตอนการย่อย (digestion)

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ปริมาณ 200-300 มิลลิกรัม ใส่ในขวดชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร

2. เติมกรดย่อย (จากข้อ 1 ในหัวข้อสารเคมี) ปริมาตร 15 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง

3. นำไปย่อยบนแผ่นให้ความร้อน (hot plate) ค่อยๆปรับความร้อนให้ได้ 80 องศาเซลเซียส ระยะแรกจะเห็นควันสีน้ำตาล ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาของกรดไนตริกกับอินทรีย์คาร์บอน เมื่อควันสีน้ำตาลหมดปรับอุณหภูมิเป็น 190 องศาเซลเซียส จะสังเกตเห็นควันสีขาวของกรดเปอร์คลอริค การย่อยจะสิ้นสุดเมื่อสารละลายในขวดชมพูใส และเมื่อวางทิ้งไว้ให้เย็นแล้วหยดน้ำที่ปราศจากไอออนลงในสารละลายในขวดชมพู่จะได้สารละลายใส

4. ปรับปริมาตรของสารละลายในขวดชมพู่ด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

5. เก็บสารละลายที่ผ่านการย่อยและปรับปริมาตรแล้วไว้ในขวดพลาสติกขนาด 100 มิลลิลิตรเพื่อรอการนำไปวิเคราะห์ฟอสฟอรัส

ข. ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส

1. นำสารละลายตัวอย่างที่ผ่านการย่อยแล้ว และเวิร์คกิ้ง สแตนดาร์ด ฟอสฟอรัส ความเข้มข้น 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดขนาด 10 มิลลิลิตร

2 เติมสารละลายวานาโดโมลิบเดท (1:3) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน วาง 112 ทิ้งไว้ 20 นาที

3. นำสารละลายในหลอดมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวช่วงคลื่น 420 นาโนเมตร โดยปรับค่าความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้เท่ากับค่าการดูดกลืนแสงที่ 0 เปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างกับกราฟมาตรฐานที่ได้จากการเตรียมสารละลายมาตรฐานเมื่อได้ค่าฟอสฟอรัสในตัวอย่างแล้วนำค่าปริมาณฟอสฟอรัสมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสตามสูตร

% ฟอสฟอรัส = (X - B) x V x 100 / 1000 x W

เมื่อ X = ปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

B = ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

V = ปริมาตรของตัวอย่างที่ปรับปริมาตรหลังจากการย่อย (มิลลิลิตร)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

หมายเหตุ

1. การตรวจสอบวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่าง สามารถทำการตรวจสอบได้โดยการนำตัวอย่างที่ทราบปริมาณฟอสฟอรัสที่แน่นอน ทำการย่อยและวิธีเคราะห์หาปริมาตรฟอสฟอรัสพร้อมกับชุดตัวอย่างที่ต้องการทราบค่า หากตัวอย่างที่ทราบ ปริมาณฟอสฟอรัสที่แน่นอนไม่ได้ค่าตามที่กำหนดไว้ จะต้องทำการย่อยและวิธีเคราะห์ใหม่ จนกว่าตัวอย่างที่ทราบปริมาณฟอสฟอรัสที่แน่นอนจะได้ค่าตามที่กำหนด

2. สำหรับสารละลายตัวอย่างที่ค่าความดูดกลืนแสงไม่อยู่ในช่วงกราฟมาตรฐาน ให้ทำการเจือจางสารละลายตัวอย่าง จนกว่าจะได้ค่าการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงกราฟมาตรฐาน (เช่น ตัวปลาและกระดูกปลา ทำการเจือจางเป็น 4 เท่า) และต้องคูณจำนวนเท่าของการเจือจางในสูตรการคำนวณข้างต้น

6. **การวิเคราะห์โครมิคออกไซด์** (ปรับปรุงจากวิธีการของ Furukawa and Tsukahara, 1966)

สารเคมี

1. กรดไนตริกเข้มข้น
2. กรดเปอร์คลอริคเข้มข้น

วิธีการ

6.1 ชั่งตัวอย่าง 50 ถึง 100 มิลลิกรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 50 มิลลิลิตร

6.2 เติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 - 8 มิลลิลิตร นำไปย่อยที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 45 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 190 องศาเซลเซียส จนหมดควันสีน้ำตาล หรือสารละลายใส และมีตะกอนสีเขียว หากสารละลายยังไม่ใสหรือมีสีเขียวให้เติมกรดไนตริกเพิ่มแล้วย่อยต่อ

6.3 ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติมกรดเปอร์คลอริคเข้มข้น 3 มิลลิลิตร นำไปย่อยอีกครั้งจนสารละลายในขวดเปลี่ยนเป็นสีส้มแดง ย่อยต่ออีกจนหมดควันสีขาว เมื่อตั้งทิ้งไว้ให้เย็นจะเห็นคราบสีแดงภายในขวด

6.4 ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่น และปรับปริมาตรสารละลายให้ครบ 25 มิลลิลิตร

6.5 นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับน้ำกลั่น

ก. คำนวณค่าปริมาณโครมิคออกไซด์โดยใช้สมการ (Furukawa and Tsukahara, 1966 อ้างโดย FAO, 1994)

$$X = (1/4) [(Y-0.0032)/0.2089]$$

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสง

x = ปริมาณโครมิคออกไซด์ (มิลลิกรัมต่อ100 มิลลิลิตร)

0.0032 และ 0.2089 เป็นค่าคงตัว

ข. คำนวณปริมาณโครมิคออกไซด์ในตัวอย่าง

ปริมาณโครมิคออกไซด์ในตัวอย่าง = 100 (ปริมาณโครมิคออกไซด์ในจากข้อก. / น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ (มิลลิกรัม))

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายทนงศักดิ์ จงศิริ

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5010620050

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (ชีววิทยา)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2549

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ทนงศักดิ์ จงศิริ และ วุฒิพร พรหมขุนทอง. 2554. ผลของกรดอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของปลาไน (*Cyprinus carpio*). การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 12 ณ อาคารวิทยาลัยการปกครองท้องถิ่น มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 28 มกราคม 2554. หน้า 627