



## ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ)

ปริญญา

เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง บทบาทของเอนไซม์ไฟเตสต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลานิลแปลงเพศ  
(*Oreochromis niloticus*)

Effect of Dietary Phytase on Feed Utilization of Sex-reversed Tilapia

นามผู้วิจัย นายชลธิ ทองประยูร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

( รองศาสตราจารย์นันทวิทย์ อารีย์ชน, Ph.D. )

กรรมการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรพินท์ จินตสถาพร, วท.ด. )

กรรมการ

( อาจารย์ประพันธ์ศักดิ์ ศิริชะภาภูมิ, Ph.D. )

กรรมการ

( รองศาสตราจารย์สงศรี มหาสวัสดิ์, วท.ม. )

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์วราห์ เทพาคูดี, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์วินัย อางคงหาญ, M.A. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

บทบาทของเอนไซม์ไฟเตสต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลานิลแปลงเพศ  
(*Oreochromis niloticus*)

Effect of Dietary Phytase on Feed Utilization of Sex-reversed Tilapia

โดย

นายชลธิ์ ทองประยูร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ)  
พ.ศ. 2550

ชลธิ์ ทองประยูร 2550: บทบาทของเอนไซม์ไฟเตสต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารของ  
ปลานิลแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus*) ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เพาะเลี้ยง  
สัตว์น้ำ) สาขาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ประชานกรรมการที่ปรึกษา:  
รองศาสตราจารย์นนทวิทย์ อารีย์ชน, Ph.D. 62 หน้า

การทดลองเลี้ยงปลานิลแปลงเพศ ด้วยอาหารที่มีกากถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบหลัก  
และเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ คือ 0, 750 และ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม เพื่อ  
ศึกษาบทบาทของเอนไซม์ไฟเตสต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลานิลแปลงเพศ โดยแบ่ง  
ออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองแรกเป็นการศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ไฟเตส ต่อการ  
เจริญเติบโต องค์ประกอบของเลือด และการนำแร่ธาตุไปใช้ ประกอบด้วย ฟอสฟอรัส แคลเซียม  
เหล็ก และ สังกะสี ในปลานิลแปลงเพศขนาดเฉลี่ย 96.70 กรัม ทดลองเลี้ยงในกระชังขนาด 2x4  
ตารางเมตร เป็นเวลา 60 วัน การทดลองที่สอง เป็นการศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ไฟเตส ต่อ  
คุณภาพน้ำในปลานิลแปลงเพศขนาดเฉลี่ย 29.92 กรัม ทดลองเลี้ยงในตู้กระจกขนาด 85 ลิตร เป็น  
เวลา 30 วัน เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า การเสริมเอนไซม์  
ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ในปลานิลแปลงเพศขนาดเฉลี่ย 96.70 กรัม เพียง  
พอที่จะทำให้ปริมาณน้ำหนักร่างกายเพิ่มขึ้น มากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตสอย่างมี  
นัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่ในปลานิลแปลงเพศขนาดเฉลี่ย 29.92 กรัม การเสริมเอนไซม์ไฟ-  
เตสในอาหารที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ทำให้น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มอื่น  
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ส่วนปริมาณฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต และ แร่ธาตุในเลือด  
รวมทั้งปริมาณฟอสฟอรัส และ แคลเซียมในกระดูกไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง ยกเว้นใน  
ปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม  
มีปริมาณเหล็กในซีรัม เพิ่มขึ้นมากกว่าในกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส เมื่อเลี้ยง  
ด้วยอาหารทดลองเป็นเวลา 30 วัน นอกจากนั้นการเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารที่ระดับ 1,000  
ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สามารถลดค่าบีโอดีได้ 0.64 มิลลิกรัมต่อลิตร ( $p < 0.05$ ) ตั้งแต่ใน  
สัปดาห์แรกของการเลี้ยง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

Chonlathee Thongprayoon 2007: Effect of Dietary Phytase on Feed Utilization of Sex-reversed Tilapia. Master of Science (Aquaculture), Major Field: Aquaculture, Department of Aquaculture. Thesis Advisor: Associate Professor Nontawith Areechon, Ph.D. 62 pages.

The effects of dietary phytase on feed utilization of high soybean meal diets were studied in sex-reversed tilapia. Three formulated feeds were given to the fish which supplemented with phytase at 0, 750 and 1,000 units/kg diet. A total of 360 sex-reversed tilapia with initial average body weight 96.7 grams were stocked into 12 cages holding representing four replicates per treatment. All cages were placed in 800 m<sup>2</sup> pond. Blood composition including hemoglobin and hematocrit was examined. Mineral utilization including phosphorus, calcium, iron and zinc in serum was also determined in a 60 days growth trial. A second trial was conducted to evaluate the effect of dietary phytase on discharged phosphorus in the water. A total of 120 sex-reversed tilapia with initial average body weight 29.92 grams were stocked into 12 glass tanks. Water quality was examined in a 30 day growth trial. The data shown that phytase supplemented at 750 units/kg diet in 96.7 grams sex-reversed tilapia was sufficient for feed utilization and growth performance and phytase supplemented at 1,000 units/kg diet significantly increased ( $p<0.05$ ) the average weight gain of 29.92 grams sex-reversed tilapia. There was not significantly different in hemoglobin and hematocrit during experimental period. The increase of mineral in blood serum of sex-reversed tilapia that given three formulated feeds was not significantly different. However, there was significantly increase in iron in blood serum of sex-reversed tilapia which supplemented with phytase at 1,000 units/kg diet for 30 days. The BOD could be reduced 0.64 mg/l by phytase supplemented at 1,000 units/kg diet for four weeks.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ประธานกรรมการที่ปรึกษา รศ.ดร.นนทวิทย์ อาริย์ชน ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ รวมทั้ง กรรมการที่ปรึกษา รศ.สงศรี มหาสวัสดิ์ ผศ.ดร.อรพินท์ จินตสถาพร ดร.ประพันธ์ศักดิ์ ศิริชะภูมิ และผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ผศ.ดร.วันชัย วรวัฒนเมธิกุล ที่ได้ให้คำแนะนำข้าพเจ้าในการทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ บริษัท DSM Nutritional Products Ltd ที่ได้ช่วยสนับสนุนเอนไซม์ไฟเตส และ พรีเม็กซ์ ที่ใช้ในการทดลอง

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ ทุกคน และครอบครัวของข้าพเจ้าที่ช่วยเหลือ และสนับสนุน ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนเสร็จเรียบร้อย

ชลธิ์ ทองประยูร

พฤษภาคม 2550

## สารบัญ

|                      | หน้า |
|----------------------|------|
| สารบัญ               | (1)  |
| สารบัญตาราง          | (2)  |
| สารบัญภาพ            | (4)  |
| คำนำ                 | 1    |
| วัตถุประสงค์         | 2    |
| การตรวจเอกสาร        | 3    |
| อุปกรณ์และวิธีการ    | 13   |
| อุปกรณ์              | 13   |
| วิธีการ              | 15   |
| ผลและวิจารณ์         | 21   |
| ผล                   | 21   |
| วิจารณ์              | 45   |
| สรุป                 | 52   |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง | 54   |
| ภาคผนวก              | 58   |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |                                                                                                                                                                                                | หน้า |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1        | องค์ประกอบของวัตถุดิบอาหารที่ใช้ในสูตรอาหารทดลองทั้ง 3 สูตร                                                                                                                                    | 15   |
| 2        | องค์ประกอบทางโภชนะของอาหารทดลอง 3 สูตร                                                                                                                                                         | 16   |
| 3        | น้ำหนักตัวเฉลี่ยของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 60 วัน                                                                              | 22   |
| 4        | อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตรารอด การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 60 วัน       | 23   |
| 5        | ปริมาณฟอสฟอรัสและแคลเซียมในชีรัมของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน                                                       | 24   |
| 6        | ปริมาณเหล็กและ สังกะสีในชีรัมของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน                                                          | 26   |
| 7        | ฮีมาโตคริตและฮีโมโกลบินของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน                                                                | 28   |
| 8        | ฟอสฟอรัสในกระดูกและเถ้ากระดูก ของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน                                                         | 30   |
| 9        | น้ำหนักตัวเฉลี่ยของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์                                                                         | 32   |
| 10       | อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตรารอด การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์ | 34   |
| 11       | ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์                                                        | 35   |

### สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่            |                                                                                                                                            | หน้า |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 12                  | ปริมาณออร์โทฟอสฟอรัสในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์ | 36   |
| 13                  | ปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์      | 38   |
| 14                  | ปริมาณไนโตรเจนในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์       | 39   |
| 15                  | บีโอดีในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์               | 40   |
| 16                  | อัลคาลินิตีในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์          | 42   |
| 17                  | ความกระด้างในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์          | 43   |
| 18                  | ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์    | 44   |
| 19                  | พีเอชในน้ำ ที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์               | 45   |
| <b>ตารางผนวกที่</b> |                                                                                                                                            |      |
| 1                   | ปริมาณไฟเตทฟอสฟอรัสในวัตถุดิบ และปริมาณไฟเตทฟอสฟอรัสในสูตรอาหารทดลอง                                                                       | 61   |



## สารบัญภาพ

| ภาพที่ |                                                                                                                                         | หน้า |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1      | โครงสร้างของกรดไฟติกที่สามารถจับกับสารที่มีประจุบวกได้                                                                                  | 6    |
| 2      | แสดงการสลายกรดไฟติกโดยเอนไซม์ไฟเตส                                                                                                      | 7    |
| 3      | น้ำหนักตัวเฉลี่ยของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับเมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 60 วัน                        | 22   |
| 4      | ปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัมของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน           | 25   |
| 5      | ปริมาณแคลเซียมในซีรัมของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน           | 25   |
| 6      | ปริมาณเหล็กในซีรัมของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน              | 27   |
| 7      | ปริมาณสังกะสีในซีรัมของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน            | 27   |
| 8      | ฮีมาโตคริตของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน                      | 29   |
| 9      | ฮีโมโกลบินของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน                      | 29   |
| 10     | ฟอสฟอรัสในกระดูกของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน                | 31   |
| 11     | ถ้ากระดูกของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน                       | 31   |
| 12     | น้ำหนักตัวเฉลี่ยของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์                  | 33   |
| 13     | ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์ | 35   |

### สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ |                                                                                                                                            | หน้า |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 14     | ปริมาณออร์โทฟอสฟอรัสในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์ | 37   |
| 15     | ปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์      | 38   |
| 16     | ปริมาณไนไตรท์ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์        | 39   |
| 17     | บีโอดีในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์               | 41   |
| 18     | อัลคาลินิตีในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์          | 42   |
| 19     | ความกระด้างในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์          | 43   |

## บทบาทของเอนไซม์ไฟเตสต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลานิลแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus*)

### Effect of Dietary Phytase on Feed Utilization of Sex-reversed Tilapia

#### คำนำ

อาหารสัตว์เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และส่งผลต่อต้นทุนในการผลิตสัตว์น้ำ การเลือกใช้วัตถุดิบที่มาจากพืช ซึ่งมีราคาต่ำสามารถลดต้นทุนในการผลิตอาหารสัตว์ได้ กากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งที่สามารถทดแทนปลาป่นได้เพราะ มีระดับโปรตีนสูง และหาได้ง่าย เมื่อนำมาเลี้ยงสัตว์น้ำก็ทำให้การเติบโตที่ดี จึงทำให้มีการนำวัตถุดิบจากพืชมาใช้ทดแทนปลาป่นเพิ่มมากขึ้น ในการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์อย่างยั่งยืน (Sugiura *et. al.*, 2001) แต่ประมาณ 2 ใน 3 ส่วนของฟอสฟอรัสในเมล็ดพืชน้ำมันจะอยู่ในรูปไฟเตท (inositol hexaphosphate) (NRC, 1993) ซึ่งอยู่ในรูปที่ สัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น สุกร สัตว์ปีก และปลา ไม่สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากข้อจำกัดในการสังเคราะห์เอนไซม์ไฟเตสในระบบทางเดินอาหาร นอกจากนั้นโมเลกุลไฟเตทยังมีคุณสมบัติเป็นสารคีเลต (chelating agent) ทำให้สามารถจับกับสารที่มีประจุบวกได้ดี เช่น แคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม สังกะสี และโปรตีน (ทรงศักดิ์, 2532) จึงต้องมีการเสริมเอนไซม์ไฟเตสเพื่อช่วยให้สัตว์กระเพาะเดี่ยวสามารถนำฟอสฟอรัส และแร่ธาตุดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ ลดการเสริมอนินทรีย์ฟอสฟอรัส และลดปริมาณฟอสฟอรัสที่สัตว์ใช้ประโยชน์ไม่ได้ที่ถูกขับออกมาทางมูลในปริมาณสูง (จิตรกร, 2545) ลงสู่แหล่งน้ำและสะสมในดิน ทำให้แหล่งน้ำมีความอุดมสมบูรณ์มากเกินไปจนเกิดการเพิ่มปริมาณของแพลงก์ตอนอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญของมลภาวะทั้งในน้ำและดิน

เอนไซม์ไฟเตส (myo-inositol hexakisphosphate phosphohydrolase) เป็น hydrolytic enzyme ที่พบในพืช และจุลินทรีย์บางชนิด สามารถย่อย และปลดปล่อยออร์โทฟอสเฟตจากโมเลกุลไฟเตท (สร้อย, 2546) รวมทั้งแร่ธาตุอื่น ๆ จึงสามารถเพิ่มความเป็นประโยชน์ของแร่ธาตุดังกล่าว ทำให้สามารถลดปริมาณการเสริมอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในสูตรอาหาร รวมทั้งลดปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลาขับถ่าย ด้วยเหตุนี้เอนไซม์ไฟเตสจึงมีส่วนช่วยส่งเสริมให้ปลาสามารถใช้ประโยชน์ฟอสฟอรัสและแร่ธาตุอื่น ๆ จากพืชได้ดี และลดปริมาณฟอสฟอรัสจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำลงสู่แหล่งน้ำ เพื่อลดผลกระทบจากฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำที่มาจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของเอนไซม์ไฟเตสต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลานิล
2. เพื่อศึกษาผลของเอนไซม์ไฟเตสต่อคุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิล

## การตรวจเอกสาร

### ปลานิล

ปลานิลมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oreochromis niloticus* จัดอยู่ในวงศ์ Cichlidae เป็นปลาน้ำจืดที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา แต่สามารถแพร่ขยายพันธุ์ได้ดีจนกระจายไปทั่วทุกภูมิภาคของโลก เลี้ยงง่ายโตเร็วมีความแข็งแรงและอดทน สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี สามารถอยู่ได้เป็นปกติในน้ำที่มีความเค็มสูงถึง 20 ppt อุณหภูมิที่มีชีวิตรอดอยู่ได้คือตั้งแต่ 11-42 องศาเซลเซียส ซึ่งนับว่าเป็นช่วงที่กว้างมากและเจริญเติบโตดีที่สุดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 16 องศาเซลเซียสปลาจะไม่กินอาหาร (Jauncey and Ross, 1982) ปลานิลจึงเป็นพันธุ์ปลาสากลที่นิยมเพาะเลี้ยงทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ และถูกคัดเลือกให้เป็นตัวแทนของสัตว์ที่ใช้ในงานทดลองวิจัยทางชีววิทยา และพันธุศาสตร์ของสัตว์น้ำ นอกจากนี้ปลานิลยังเป็นปลาที่เนื้อมีรสชาติดีเป็นที่นิยมของผู้บริโภคทั่วไป และเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่มีต้นทุนต่ำคุณภาพสูง (มานพ และคณะ, 2536)

### อาหารและนิสัยการกินอาหาร

ปลานิลเป็นสัตว์ที่หากินเวลากลางวัน สามารถกินอาหารได้ทั้งบนผิวน้ำ กลางน้ำ และก้นบ่อ จัดว่าเป็นปลาประเภทกินพืชและเนื้อ (Omnivorous) มีฟันขนาดเล็กบนขากรรไกรและบริเวณคอหอย ทำหน้าที่บดอาหารให้มีขนาดเล็กลง และผ่านสู่กระเพาะอาหารตอนต้น ซึ่งมีลักษณะพิเศษคือ ไม่มีกระเพาะแท้เหมือนปลากินเนื้อ แต่ทางเดินอาหารส่วนที่ต่อจากหลอดคอพัฒนาให้มีโครงสร้างคล้ายกระเพาะ หรืออาจเรียกว่ากระเพาะดัดแปลง (modified stomach) สามารถหลั่งน้ำย่อยระหว่างการย่อยอาหารได้ (เวียง, 2543) ทำให้ระดับพีเอชอาจต่ำกว่า 1.5 (มานพ และคณะ, 2536) สามารถย่อยพืช และสิ่งเน่าเปื่อยได้ดี แต่หลังจากสิ้นสุดการกินอาหารในรอบวัน พีเอชของน้ำย่อยจะกลับสู่ ระดับ 5-7 ถ้าไส้มีความยาวประมาณ 7 เท่าของความยาวลำตัวทำหน้าที่ย่อยและดูดซึมอาหาร ปลานิลชอบกินสาหร่าย แพลงก์ตอนพืช และแพลงก์ตอนสัตว์ในน้ำ ตะไคร่น้ำ ซากเน่าเปื่อยของพืชและสัตว์ตามก้นบ่อหรือแหล่งน้ำที่อาศัยอยู่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปลานิลกินอาหารได้ทุกชนิด ปลาขนาดต่าง ๆ กันชอบกินอาหารแตกต่างกันเล็กน้อย อาหารของปลานิลขนาดใหญ่และโตเต็มวัย (adult) ส่วนใหญ่จะเป็นพวกพืช การเลี้ยงปลานิลในบ่อนิยมใช้อาหารจำพวกรำเศษ-

อาหาร พืชจำพวกแห้ว รวมทั้งมูลสัตว์ ซึ่งต่อมาได้มีการปรับปรุงคุณภาพของอาหารของปลานิล โดยเน้นรายละเอียดเกี่ยวกับปริมาณโปรตีนในอาหาร มีการใช้ส่วนผสมของรำ ปลายข้าว กากถั่วเหลือง ใบกระถินแห้ง ปลาป่น เกลือแร่และวิตามิน การเจริญเติบโตของปลานิลเมื่อเลี้ยงในเวลา 1 ปี จะมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 30 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 500 กรัม และให้ผลผลิต 690 กิโลกรัม/ไร่/ปี (มานพ และคณะ, 2536)

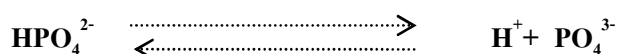
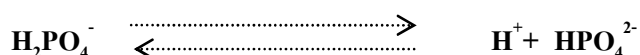
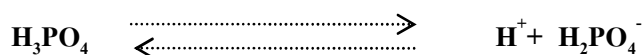
### ความต้องการสารอาหารของปลานิล

ปลานิลขนาดเล็กต้องการโปรตีนมากกว่าปลานิลขนาดใหญ่ โดยลูกปลาระยะเริ่มกินอาหาร (น้ำหนักมากกว่า 1 กรัม) ต้องการโปรตีน 40-50 % ปลาวัยอ่อน (น้ำหนักมากกว่า 1-10 กรัม) ต้องการโปรตีน 30-40 % ปลาวัยรุ่น (น้ำหนักมากกว่า 10-30 กรัม) ต้องการโปรตีน 28-35 % และปลานิลขนาดโตเต็มวัย (น้ำหนักมากกว่า 30 กรัม) ต้องการโปรตีนในอาหาร 28-30 % ส่วนคาร์โบไฮเดรตสามารถใช้วัตถุดิบจากแป้งเป็นส่วนผสมถึง 30-60% เพราะปลานิลสามารถสร้างเอนไซม์อะไมเลสในท่อทางเดินอาหาร จึงใช้ประโยชน์คาร์โบไฮเดรตได้ดี (เวียง, 2543) ต้องการไขมันในกลุ่ม โอเมกา-6 ในอาหารอย่างน้อย 1.5 % (วิมล, 2536)

### ปัญหาของแร่ธาตุฟอสฟอรัสในอาหาร

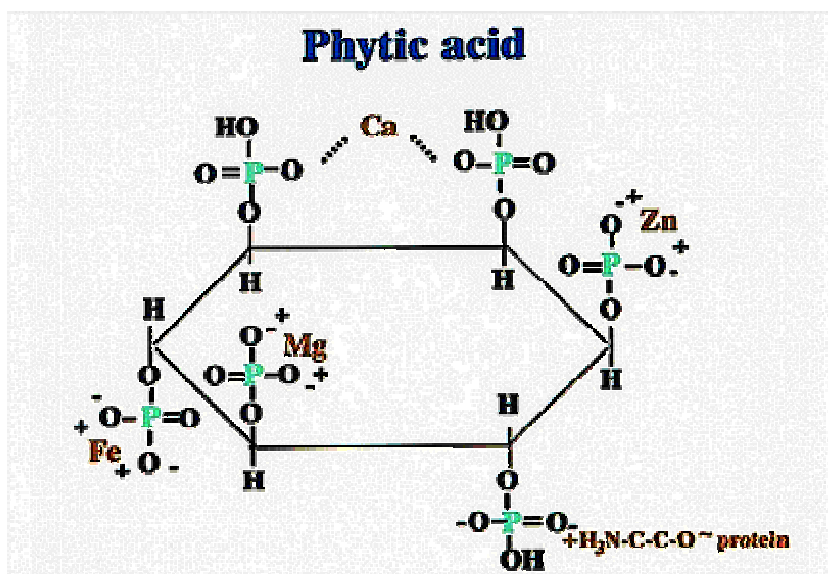
ในเมล็ดพืชส่วนมากจะพบกรดไฟติกหรือไฟเตท ซึ่งทำให้การใช้ฟอสฟอรัสจากวัตถุดิบอาหารที่เป็นพืชเช่น กากถั่วเหลือง หรือ รำ ในปลาได้น้อยมากประมาณ 8-20% (วิรพงษ์, 2535) เนื่องจากร่างกายขาดเอนไซม์ไฟเตสในระบบทางเดินอาหาร ที่ช่วยทำหน้าที่ปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่จับกับโมเลกุลของไฟเตทออกมา จึงอาจกล่าวได้ว่าสัตว์โดยทั่วไปไม่สามารถย่อย และดูดซึมฟอสฟอรัสในรูปดังกล่าว แต่ในสัตว์จำพวก ruminants จะสามารถไฮโดรไลซิสไฟเตทในกระเพาะอาหารส่วน forestomachs โดย bacteria phytase (Lloyd *et. al.*, 1978) โมเลกุลไฟเตทที่ไม่ถูกย่อยสลายในสัตว์ทั่วไปจะผ่านระบบทางเดินอาหารอย่างรวดเร็วและถูกขับออกจากร่างกาย ทำให้สัตว์ขาดฟอสฟอรัส ดังนั้นในอาหารสัตว์จึงต้องมีการเสริมสารอนินทรีย์ในปริมาณสูง ทำให้ต้นทุนค่าอาหารเพิ่มขึ้น และปริมาณฟอสฟอรัสที่สัตว์ใช้ประโยชน์ไม่ได้ที่ถูกขับออกมาทางมูลในปริมาณสูง (จิตรกร, 2545) ซึ่งส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่แพลงก์ตอนพืชต้องการในปริมาณค่อนข้างมาก และมักเป็นธาตุอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช (จารุมาศ, 2542) หากแหล่งน้ำได้รับฟอสฟอรัสสูง อาจเกิดการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืช

มากขึ้นไปโดยเฉพาะสารประกอบออร์โธฟอสเฟตในแหล่งน้ำ หรือบางที่เรียกว่า Soluble Reactive Phosphorus ได้แก่สารประกอบพวก  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  และ  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  สารประกอบพวกนี้ละลายน้ำได้ดี แพลงก์ตอนพืช สามารถดูดซับออร์โธฟอสเฟตได้อย่างรวดเร็ว มากกว่ากลุ่มพืชขนาดเล็กอื่น ๆ และออร์โธฟอสเฟตสามารถแตกตัวได้ดังนี้ (สิริ, 2528)



### กรดไฟติก

กรดไฟติก (phytic acid) หรือ ไฟเตท (phytate) มีชื่อทางเคมีว่า Inositol-1,2,3,4,5,6-hexadihydrogenphosphate สูตรทางเคมีของกรดไฟติกคือ  $\text{C}_6\text{H}_{24}\text{O}_{27}\text{P}_6$  (ภาพที่ 1) เป็นสารต้านโภชนาการชนิดหนึ่งสามารถยับยั้งการดูดซึมแร่ธาตุจำเป็นที่ต้องการในปริมาณน้อย (trace elements) ที่จำเป็นต่อร่างกายได้ สามารถแตกตัวบางส่วนได้ประจุลบบนโมเลกุลประมาณ 1-2 ประจุ ในแต่ละกลุ่มฟอสเฟตจึงสามารถจับตัวกับสารที่มีประจุบวก (cations) ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะ ต่าง ๆ ที่แตกตัวเป็นประจุบวก อาจถูกจับระหว่างฟอสเฟต 2 กลุ่ม หรือฟอสเฟตกลุ่มเดียวกันก็ได้ โลหะเหล่านั้นเช่น เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) แมกนีเซียม (Mg) หรือแคลเซียม (Ca) และไฟเตท สามารถจับกับโปรตีนได้ด้วย (ทรงศักดิ์, 2532; จุริพร, 2536)

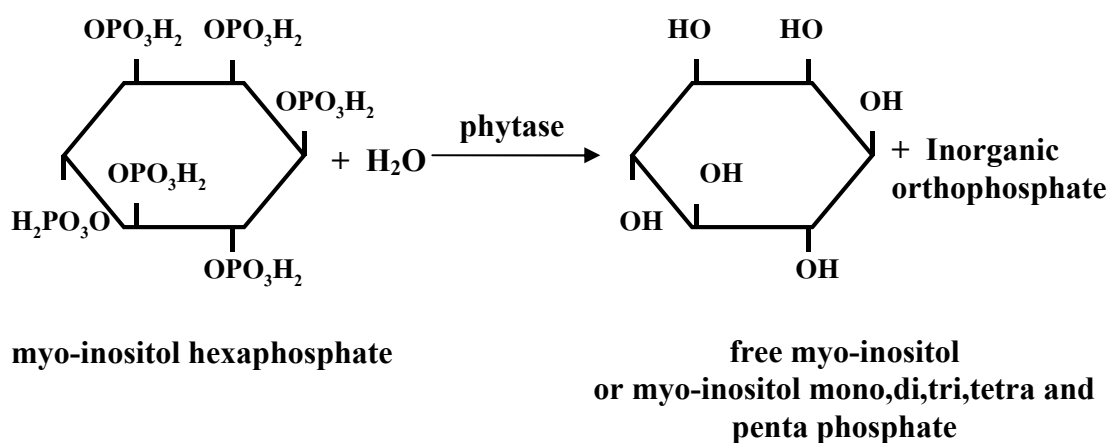


ภาพที่ 1 โครงสร้างของกรดไฟติกที่สามารถจับกับสารที่มีประจุบวกได้  
ที่มา : Denise and Patience (2005)

### ลักษณะทั่วไปและกลไกการทำงานของเอนไซม์ไฟเตส

เอนไซม์ไฟเตสเป็น hydrolytic enzyme มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า myo-inositol hexakisphosphate phosphohydrolase เป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่สามารถย่อย และปลดปล่อยออร์โธ-ฟอสเฟตจากโมเลกุลไฟเตต เอนไซม์ไฟเตสเร่งปฏิกิริยา dephosphorylation ทำให้เกิดการสลายพันธะเอสเทอร์ ของกรดไฟติกโดยจะเกิดการเคลื่อนย้าย orthophosphate ได้ทีละหมู่ทำให้เกิดสารตัวกลางคือ inositol-penta-phosphate ( $IP_5$ ) และถูกสลายต่อไปได้สารตัวกลางที่มีฟอสเฟตลดลงคือ  $IP_4$   $IP_3$   $IP_2$  และ  $IP_1$  ตามลำดับ จนในที่สุดได้อินซิทอลอิสระและฟอสเฟตทั้งหมด 6 โมเลกุล (ภาพที่ 2) (สร้อย, 2546) จากการตรวจสอบโดยวิธี HPLC ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ไฟเตส 1 หน่วย FTU หมายถึง ปริมาณเอนไซม์ที่สามารถสลายโซเดียมไฟเตต (sodium phytase) ที่ความเข้มข้น 5.10 มิลลิโมล ได้ inorganic phosphate 1 ไมโครโมลต่อนาทีที่พีเอช 5.5 และอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (Johnston and Southern, 2000)





ภาพที่ 2 แสดงการสลายกรดไฟติกโดยเอนไซม์ไฟเตส

ที่มา : Liu *et. al.* (1998)

### ประเภทของเอนไซม์ไฟเตส

ในปี ค.ศ. 1979 The International Union of Biochemistry ได้จัดประเภทของเอนไซม์ไฟเตสไว้ 2 กลุ่ม คือ

1. 3-phytase (E.C.3.1.3.8) เป็นเอนไซม์ไฟเตสที่สลายพันธะเอสเทอร์ที่ตำแหน่งที่สามของ myo-inositolhexakis phosphate ไปเป็น D-myoinositol 1,2,4,5,6 pentakisphosphate กับ orthophosphate
2. 6-phytase (E.C.3.1.3.26) เป็นเอนไซม์ไฟเตสที่สลายพันธะเอสเทอร์ที่ตำแหน่งที่หกของ myo-inositolhexakis phosphate ไปเป็น D-myoinositol 1,2,3,4,5 pentakisphosphate กับ orthophosphate

เอนไซม์ทั้งสองกลุ่มนี้สกัดได้จากแบคทีเรีย และเชื้อรา เป็น hydrolytic enzyme ที่สามารถย่อยพันธะเอสเทอร์ของฟอสฟอรัส โดยเริ่มจากคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 และ 6 ตามลำดับ จนกระทั่งสามารถย่อยฟอสฟอรัสได้ทั้งหมด (Liu *et. al.*, 1998) ในธรรมชาติเอนไซม์ไฟเตสสามารถพบได้ทั้ง ในพืช เนื้อเยื่อสัตว์ และจุลินทรีย์ แต่เอนไซม์จากจุลินทรีย์มีข้อได้เปรียบกว่าเอนไซม์จากพืชและเนื้อเยื่อสัตว์ คือ สามารถเพาะเลี้ยงให้เพิ่มจำนวนได้ง่าย และรวดเร็ว สามารถเหนี่ยวนำหรือตัดแปลงโดยวิธีการทางพันธุวิศวกรรม ให้สามารถสังเคราะห์โปรตีนที่ต้องการได้ในปริมาณสูง และมีประสิทธิภาพในการทำงานในช่วงพีเอชที่กว้างกว่าเอนไซม์จากพืชซึ่งทำงานได้ดีที่พีเอชประมาณ 4.5–6.5 เท่านั้น ส่วนเอนไซม์ไฟเตสจากจุลินทรีย์สามารถทำงานได้ในช่วงพีเอชที่กว้างกว่าคือ 2.5–6.5 (สุชน และบุญล้อม, 2541) จึงทำให้สามารถทำการย่อยในกระเพาะอาหารซึ่งมีระดับพีเอชต่ำได้

### ความสำคัญของฟอสฟอรัสในร่างกาย

นิธิยาและวิบูลย์ (2529) กล่าวถึงหน้าที่สำคัญของฟอสฟอรัสไว้ดังนี้

1. เป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน โดยหน้าที่นี้จะสัมพันธ์กับแร่ธาตุแคลเซียมซึ่งในกระดูกนั้นทั้งฟอสฟอรัสและแคลเซียมอยู่ในรูปแคลเซียมฟอสเฟต  $[Ca_3(PO_4)_2]$  และไฮดรอกซีอะพาไทต์  $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH_2)]$
2. เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ฟอสโฟลิปิด ซึ่งเป็นสารที่มีความสำคัญในการสร้างเยื่อหุ้มเซลล์
3. เป็นสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตอยู่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ ทั่วร่างกาย ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ในการควบคุมไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงภาวะความเป็นกรด-ด่างของเลือด
4. เป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และสารอาหารอื่น ๆ ในร่างกาย

5. เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของสารที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการให้พลังงาน การถ่ายเทพลังงานและการเก็บสะสมพลังงานในร่างกาย ซึ่งเรียกว่า high-energy phosphate compounds เช่น สารประกอบอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต ซึ่งให้พลังงานสำหรับปฏิกิริยาต่าง ๆ ในร่างกาย
6. เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของโคเอนไซม์หลายชนิด เช่น โคเอนไซม์ของสารประกอบนิโคตินาไมด์ในปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ได้แก่ NADP-NADPH และเป็นส่วนประกอบในรูปที่ทำงานของวิตามินบีหนึ่งคือ ไธอามีนไพโรฟอสเฟต ซึ่งเป็นโคเอนไซม์ของปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน
7. เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของน้ำตาลฟอสเฟต ได้แก่ น้ำตาลไรโบส และดีออกซีไรโบส ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในโมเลกุลของกรดนิวคลีอิก คือ ดีเอ็นเอ และอาร์เอ็นเอ ซึ่งเป็นสารประกอบที่สำคัญของเซลล์ในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม
8. เป็นแร่ธาตุที่ช่วยควบคุมการทำงานของระบบประสาท

### สมดุลของฟอสเฟตในร่างกาย

สารฟอสเฟตในร่างกายส่วนใหญ่เก็บสะสมอยู่ที่กระดูก ส่วนที่เหลือประมาณ 10-15% จะอยู่ในรูปฟอสเฟตอินทรีย์ ในเนื้อเยื่อต่าง ๆ เช่น ฟอสโฟไลปิด กรดนิวคลีอิกและสารอื่น ๆ ที่ละลายอยู่ในเซลล์ ฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซึมจะอยู่ในรูปฟอสเฟตอินทรีย์โดยใช้พลังงานและไม่ใช้พลังงาน อยู่ในพลาสมาในรูปของฟอสเฟตผูกมัดคือจับกับโปรตีนในพลาสมา ที่เหลือเป็นไอออนประจุลบ และจับกับแคลเซียมหรือไอออนประจุบวกอื่น ๆ แต่สามารถแตกตัวได้ง่ายในพลาสมาจึงถือว่าเป็นฟอสเฟตอิสระ ระดับของฟอสเฟตในพลาสมาไม่ได้ถูกควบคุมมากจะพบว่าเปลี่ยนแปลงตามชนิดอาหาร อายุ และ เพศ ฟอสเฟตอิสระและฟอสเฟตที่จับกับไอออนอื่น ๆ สามารถกรองผ่านเยื่อโกลเมอรูลัสได้ และถูกดูดกลับโดยการขนส่งแบบใช้พลังงานและการขนส่งร่วมกับโซเดียม (cotransport) ในท่อไตส่วนต้น (นทีทิพย์, 2538) ฟอสฟอรัสที่ถูกขับออกจากร่างกายประมาณ 2 ใน 3 จะถูกขับออกมาทางปัสสาวะในรูปของสารอนินทรีย์ซึ่งควบคุมโดยฮอร์โมนพาราไธรอยด์โดยจะกระตุ้นการขับฟอสฟอรัสออกทางปัสสาวะโดยยับยั้งการดูดกลับที่ไต และที่เหลือจะขับออกมาทางมูล (McDowell, 1992)

## แคลเซียมและฟอสฟอรัสในกระดูก

โดยทั่วไปสัดส่วนของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในกระดูกและเกล็ดรวมกันประมาณ 1.5-2.1 : 1 และสัดส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสในร่างกายทั้งหมดประมาณ 0.7-1.6 : 1 (วีรพงศ์, 2535) กระบวนการสร้างกระดูกจะเป็นการสะสมแร่ธาตุในรูป organic matrix ในกระบวนการ calcification จะมี  $\text{CaHPO}_4$  เป็นตัวกลางและมีกระบวนการสร้างดังนี้

1. เกิดการรวมตัวของแคลเซียมและฟอสฟอรัสเป็นไดแคลเซียมฟอสเฟต
2. ไดแคลเซียมฟอสเฟต 3 โมเลกุลรวมตัวกันเกิดปฏิกิริยา condensation เป็น ไตร-แคลเซียมฟอสเฟต 1 โมเลกุล
3. ไตรแคลเซียมฟอสเฟต ไม่มีความเสถียรจึงเกิดปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์เป็น carbonate fluorine หรือ hydroxyl อย่างรวดเร็ว เกิดเป็นโครงสร้างผลึก ของ apatite minerals
4. เกิดปฏิกิริยา substitution ของโมเลกุลต่อเนื่องไปเรื่อยและมีความเสถียรมากขึ้น และการละลายได้จะลดลง

แร่ธาตุในกระดูกมีการนำไปใช้และสร้างใหม่ตลอดเวลา กระบวนการ remodeling จะทำให้เกิดช่องว่างบริเวณ cortical หรือ cancellous บนผิวกระดูก และ osteoblasts จะต้องการ bone remineralization เพื่อเติมช่องว่าง โดย osteoblasts จะสังเคราะห์ collagen matrix และ osteoclasts จะถูกกระตุ้นโดย พาราไธรอยด์ฮอร์โมน เมื่อ reabsorb calcium และแร่ธาตุอื่นๆ (Lloyd *et. al.*, 1978)

## การสะสม และ เมตาบอลิซึมของเหล็ก และ สังกะสี

เหล็กที่พบในตัวปลาประมาณ 70 % เป็นองค์ประกอบของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง ส่วนที่เหลือ 30 % พบสะสมในตับ ม้าม และ กล้ามเนื้อ เม็ดเลือดแดงของปลาจะสร้างที่ ม้าม และ ไต แตกต่างจากสัตว์มีกระดูกสันหลังทั่วไป การสร้างเม็ดเลือดแดงจำเป็นต้องนำเหล็กมาเป็นองค์ประกอบ จึงทำให้สัตว์ที่ขาดแร่เหล็กเกิดเป็นโรคโลหิตจาง ปลาจำเป็นต้องได้รับเหล็กจากอาหาร (วีรพงศ์, 2536) โดยจะถูกดูดซึมในรูปเกลือเฟอร์รัส ซึ่งละลายได้ดีในน้ำผ่านเยื่อผนังลำไส้

แล้วถูกออกซิไดส์กลับอยู่ในรูปเฟอร์ริก หลังจากนั้นจะจับกับ specific protein ชื่อ อะโปทรานส์เฟอร์ริน (apotransferrin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อน คือ ทรานส์เฟอร์ริน (transferrin) ซึ่งสามารถจับเหล็กได้ 2 อะตอม เป็นตัวพาเหล็กเข้าสู่กระแสเลือด และเหล็กบางส่วนที่ร่างกายได้รับมากเกินไปจะสะสมอยู่ในรูปเฟอร์ริติน (ferritin) โดยเหล็กจะถูกเปลี่ยนให้เป็น เฟอร์ริกพร้อมกับ specific protein คือ อะโปเฟอร์ริติน (apoferritin) ซึ่งสามารถจับเหล็กได้อิ่มตัวถึง 4,300 อะตอมต่อโมเลกุล เป็นสารประกอบเชิงซ้อนเฟอร์ริติน โดยร่างกายจะใช้เหล็กจากเฟอร์ริตินนี้สำหรับสร้างฮีโมโกลบินเท่านั้น

สังกะสีเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเมทัลโลเอนไซม์ (metalloenzyme) หลายชนิดซึ่งทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับเมตาบอลิซึมของโปรตีน ไขมัน และ คาร์โบไฮเดรต เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ไดมิวเตส, คาร์บอกซิเปปติเดส และคาร์บอนิกแอนไฮเดรต เป็นต้น (วีรพงศ์, 2535) การดูดซึมสังกะสี อาศัยโปรตีนเป็นตัวช่วยในการขนย้ายไปยังส่วนต่าง ๆ โดยพบมากที่สุดที่ ตา กระดูก และเม็ดเลือดแดง (นิธิยาและวิบูลย์, 2529)

### อาการขาดแร่ธาตุในปลา

เนื่องจากร่างกายสัตว์น้ำไม่สามารถสังเคราะห์เกลือแร่ จึงจำเป็นต้องได้รับจากน้ำ และอาหารเป็นประจำอย่างครบถ้วนในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการ การได้รับแร่ธาตุไม่เพียงพอทำให้ร่างกายสัตว์น้ำไม่สามารถปฏิบัติหน้าที่ได้ตามปกติ ก่อให้เกิดอาการขาดแร่ธาตุตามมา เช่น หากปลาได้รับแคลเซียมและฟอสฟอรัสไม่เพียงพอต่อความต้องการ ปลาจะมีอาการเจริญเติบโตช้า ประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำ ปริมาณแคลเซียม ฟอสฟอรัสและเถ้าของร่างกายลดลง ปริมาณฮีมาโตคริตและฟอสเฟตในเลือดลดลง ไขมันสะสมในตับและกล้ามเนื้อมากขึ้น และกระดูกพัฒนาผิดปกติโดยเฉพาะกระดูกบริเวณศีรษะและก้านครีบอ่อนบริเวณครีบอก ส่วนอาการขาดเหล็กนั้นพบว่า ปลาจะเจริญได้เป็นปกติ แต่จะเป็นโรคโลหิตจาง และอาการขาดสังกะสี ปลาจะมีอาการเฉพาะที่เหมือนกันคือ เจริญเติบโตช้า เบื่ออาหาร และตาขาวขุ่น (เวียง, 2543; วีรพงศ์, 2535)

### การเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารปลา

วุฒิพร และคณะ (2547) ทดลองเลี้ยงปลานิลแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus*) น้ำหนัก 3.39-3.49 กรัม ด้วยอาหารที่มี กากถั่วเหลือง 54 เปอร์เซ็นต์ และเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 0,

500, 1000, 2000 และ 4000 ยูนิต (FTU)/ อาหาร 1 กิโลกรัม เป็นเวลา 60 วัน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1000-4000 ยูนิต/อาหาร 1 กิโลกรัมมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยวัตถุดิบ, โปรตีน และฟอสฟอรัส ไม่แตกต่างกัน และการเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1000 ยูนิต/อาหาร 1 กิโลกรัม เพียงพอที่จะทำให้ประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส องค์ประกอบของเลือด และฟอสฟอรัสในกระดูกของปลาอยู่ในเกณฑ์ดี แต่การเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 2000 ยูนิต/อาหาร 1 กิโลกรัม ทำให้การเจริญเติบโตแตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 0, 500, 1000 ยูนิต/อาหาร 1 กิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

Liebert and Portz (2005) ศึกษาผลของเอนไซม์ไฟเตสในปลานิลแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus*) น้ำหนัก 13 กรัม ด้วยอาหารที่มี กากถั่วเหลือง 24.5 %, wheat gluten 11.50 %, ข้าวโพด 22.50 % และ แป้งสาลี 32.50 % เป็นส่วนประกอบ โดยเสริมเอนไซม์ที่ระดับ 0, 500, 750, 1000 และ 1250 ยูนิต (FTU)/ อาหาร 1 กิโลกรัม เป็นเวลา 60 วัน พบว่าปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1000 ยูนิต (FTU)/ อาหาร 1 กิโลกรัม สามารถใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในอาหารได้สูงที่สุด และมีการเจริญเติบโตแตกต่างจาก ปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 0, 500 และ 750 ยูนิต (FTU)/ อาหาร 1 กิโลกรัม แต่ไม่แตกต่างจากปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1250 ยูนิต (FTU)/ อาหาร 1 กิโลกรัม

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. เครื่องผสมอาหาร
2. เครื่องบด (Mincer)
3. เครื่องวิเคราะห์โปรตีน
4. เตาเผา (muffle furnace)
5. เครื่องวิเคราะห์เชื้อไข
6. โถดูดความชื้น (desiccator)
7. แผ่นให้ความร้อน (hot plate)
8. ถ้วย crucible
9. ตู้อบ (drying oven)
10. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
11. Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร
12. กระชังไนลอน ขนาด 2x4 ตารางเมตร
13. Monovette
14. เข็มฉีดยา ขนาด 24Gx1 นิ้ว
15. หลอดทดลอง
16. เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge)
17. microcentrifuge tube
18. Inductively coupled plasma atomic emission spectrometer รุ่น Perkin-Elmer PLASMA-1000
19. Atomic absorption spectrometer
20. เครื่องนับเม็ดเลือดอัตโนมัติ ยี่ห้อ Sysmex รุ่น F-820
21. ตู้กระจก ขนาด 45x75x40 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ปริมาตร 85 ลิตร)
22. หัวทราย และสายอากาศ
23. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ยี่ห้อ HACH รุ่น DR/2010
24. ขวดบีโอดี
25. บิวเรต

26. เครื่องปั๊มบีโอดี ยี่ห้อ SHEL-LAB รุ่น 2005
27. flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
28. หม้อนึ่งความดัน (Autoclave)
29. กระดาษกรอง GF/C
30. เครื่องวัด DO
31. เครื่องวัด pH

### สารเคมี

1. เอนไซม์ไฟฟอสเฟต ชนิด non-dusty granulate 5000 FTU/g (IUB No. 3.1.3.26)
2. Alkali-iodide-azide reagent
3. Ammonium molybdate
4. Ammonium persulfate
5. Ascorbic acid
6. Boric acid
7. Bromocresol green
8. EDTA (Ethylenediaminetetraacetic acid)
9. Eriochrome black T
10. Hydrochloric acid
11. Hypochlorite
12. Magnesium sulfate
13. Methyl orange
14. Methyl red
15. N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride
16. Phenol
17. Phenolphthalein
18. Potassium antimonyl tartrate
19. Sodium hydroxide
20. Sulfuric acid
21. Sodium thiosulfate



22. Starch indicator

23. Sulfanilamide

### วิธีการ

#### การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารทดลองมีทั้งหมด 3 สูตร เเสริมเอนไซม์ไฟเตส ต่างกัน 3 ระดับ คือ 0, 750 และ 1,000 ยูนิต (FTU)/อาหาร 1 กิโลกรัม (0, 0.16 และ 0.22 กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ตามลำดับ โดยมีระดับ โปรตีน ไขมัน และระดับพลังงานเท่ากัน ทั้ง 3 สูตร และมีสูตรอาหารดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของวัตถุดิบอาหารที่ใช้ในสูตรอาหารทดลองทั้ง 3 สูตร

| วัตถุดิบ (%)         | สูตรที่ 1 | สูตรที่ 2 | สูตรที่ 3 |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|
| ปลาป่น               | 5         | 5         | 5         |
| กากถั่วเหลือง        | 49        | 49        | 49        |
| ปลายข้าว             | 21        | 21        | 21        |
| รำข้าว               | 19        | 19        | 19        |
| น้ำมันข้าวโพด        | 1         | 1         | 1         |
| พรีมิกซ์             | 3         | 3         | 3         |
| เอนไซม์ไฟเตส         | 0         | 0.016     | 0.022     |
| Monocalciumphosphate | 0.26      | 0.26      | 0.26      |
| Diatomaceous earth   | 1.73      | 1.713     | 1.708     |
| รวม                  | 100       | 100       | 100       |

วิธีการเตรียมอาหารทดลองจะทำการชั่งและผสมวัตถุดิบในเครื่องผสมอาหารสัตว์ แบบ แนวนอน ขนาด 100 กิโลกรัม เมื่อส่วนผสมวัตถุดิบเข้ากันดี แล้วจึงนำอาหารที่ได้อัดเม็ดผ่านเครื่อง บด Mincer หน้าแวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร แล้วนำฟั้ลงมไ้ความชื้น หลังจากนั้นเก็บ ใส่ถุงพลาสติกให้มิดชิดเก็บรักษาในตู้เย็น นำอาหารที่ได้ในแต่ละสูตรไปวิเคราะห์ส่วนประกอบ

ทางโภชนาการ ด้วยวิธี proximate analysis ของ AOAC (1990) ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรต ใช้วิธี  
คำนวณค่า nitrogen free extract และวิเคราะห์ปริมาณเอนไซม์ไฟเตส ด้วยวิธี high-performance  
liquid chromatography ในอาหารแต่ละสูตรก่อนเริ่มทำการทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาการของอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าใกล้เคียงกันมาก  
(ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางโภชนาการของอาหารทดลอง 3 สูตร

|                | (หน่วย : %) |            |             |
|----------------|-------------|------------|-------------|
| สูตรอาหาร      | 1           | 2          | 3           |
| โปรตีน         | 27.04±0.35  | 27.05±0.57 | 27.12±1.38  |
| ไขมัน          | 3.44±0.21   | 3.49±0.17  | 3.79±0.27   |
| เถ้า           | 8.51±0.12   | 8.59±0.23  | 8.65±0.22   |
| เยื่อใย        | 2.76±0.11   | 2.66±0.02  | 2.70±0.35   |
| NFE*           | 54.55       | 54.46      | 54.01       |
| แคลเซียม       | 2.04±0.22   | 1.79±0.25  | 1.80±0.13   |
| ฟอสฟอรัส       | 1.30±0.02   | 1.37±0.19  | 1.42±0.27   |
| พลังงาน*       | 2,720.55    | 2,722.70   | 2,738.25    |
| เอนไซม์ไฟเตส*  | 52.50±6.00  | 706.5±1.00 | 1,053±23.00 |
| ไฟเตทฟอสฟอรัส* | 0.46        | 0.46       | 0.046       |

NFE\* : Nitrogen free extract เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ (%)

พลังงาน\* : เป็นค่าพลังงานย่อยได้ที่ได้จากการคำนวณ (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

เอนไซม์ไฟเตส\* : หน่วย ยูนิต FTU ต่อกิโลกรัม

ไฟเตทฟอสฟอรัส\* : ปริมาณไฟเตทที่ได้จากการคำนวณ (%)

## การทดลองที่ 1 ศึกษาทดลองการเสริมเอนไซม์ไฟเตส ต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบของเลือด และการนำแร่ธาตุไปใช้ในปลานิลแปลงเพศ

การเตรียมสัตว์ทดลองสำหรับการทดลองที่ 1

ปลานิลแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus*) อายุ 4 เดือน น้ำหนักเฉลี่ย  $96.7 \pm 4.60$  กรัม สุ่ม ปลานิลแปลงเพศใส่กระชังในลอน ตา 19 ขนาด  $2 \times 4$  เมตร 30 ตัวต่อกระชัง จำนวน 12 กระชัง โดยแขวนกระชังไว้ในบ่อเดียวกันขนาด 0.5 ไร่ ทั้ง 12 กระชัง เพื่อปรับสภาพและให้อาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส เป็นเวลา 7 วัน ก่อนเริ่มทำการทดลอง

### 1.1 การให้อาหารและเก็บตัวอย่าง

ให้อาหารทดลองอัตรา 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวปลาต่อวัน แบ่งเป็น 2 มื้อ คือ เวลา 09.00 น. และ 15.00 น. เป็นเวลา 60 วัน โดยแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 4 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 : อาหารสูตรที่ 1 ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส (0 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม)

ชุดการทดลองที่ 2 : อาหารสูตรที่ 2 เสริมเอนไซม์ไฟเตส 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

ชุดการทดลองที่ 3 : อาหารสูตรที่ 3 เสริมเอนไซม์ไฟเตส 1000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

ทุก ๆ 10 วัน ทำการชั่งน้ำหนักปลาทุกตัวในแต่ละหน่วยการทดลอง เพื่อกำหนดน้ำหนักตัวเฉลี่ย และในวันที่ 60 ของการทดลองทำการคำนวณ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตรารอด และการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 0, 750 และ 1000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัมเป็นเวลา 60 วัน

ในวันที่ 30 และวันที่ 60 ของการทดลอง ทำการเก็บตัวอย่าง เลือด และกระดูกสันหลัง (vertebrae) เพื่อทำการวิเคราะห์ดังนี้

- สุ่มปลาจำนวน 3 ตัวในแต่ละหน่วยการทดลอง เก็บตัวอย่างเลือด จากหลอดเลือดดำ บริเวณโคนครีบทหาง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณฮีโมโกลบิน และ ฮีมาโตคริตด้วยเครื่องนับเม็ดเลือดอัตโนมัติ หลังจากนั้นจึงปล่อยให้เม็ดเลือดตกตะกอน เก็บซีรั่มนำไปย่อยตามวิธีของ จิตรกร (2545) เพื่อวิเคราะห์ serum phosphorus ด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma atomic emission spectrometer และวิเคราะห์ serum calcium, serum iron และ serum zinc ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrometer เพื่อเปรียบเทียบ องค์ประกอบของเลือด และ ปริมาณแร่ธาตุในซีรั่ม ใน ปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 0, 750 และ 1000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

- เก็บกระดูกสันหลัง (vertebrae) ปลาจำนวน 3 ตัว ในแต่ละหน่วยการทดลองที่เก็บตัวอย่างเลือดแล้ว นำไปเผาในเตาเผาถ้ำ (muffle furnace) เพื่อวิเคราะห์ ถั่ว และ วิเคราะห์ ฟอสฟอรัส ด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma atomic emission spectrometer

## 1.2 รายงานผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design) โดยมี 3 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองมี 4 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P < 0.05$ )

## การทดลองที่ 2 ศึกษาทดลองการเสริมเอนไซม์ไฟเตส ต่อคุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศ

### การเตรียมสัตว์ทดลองสำหรับการทดลองที่ 2

ปลานิลแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus*) อายุ 2 เดือน น้ำหนักเฉลี่ย 29.92 กรัม สุ่มปลานิลแปลงเพศ 10 ตัวใส่ตู้กระจก ขนาด 135 ลิตร (45x75x40 เซนติเมตร) จำนวน 12 ตู้ เพื่อปรับสภาพและให้อาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส เป็นเวลา 7 วัน ก่อนเริ่มทำการทดลอง

## 2.1 การให้อาหารและเก็บตัวอย่าง

ให้อาหารทดลองอัตรา 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวปลาต่อวัน แบ่งเป็น 2 มื้อ คือ เวลา 09.00 น. และ 15.00 น. โดยแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 4 ซ้ำ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 เป็นเวลา 30 วัน

ในระหว่างการเลี้ยงด้วยอาหารทดลองไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำโดยจะทำการเติมน้ำเพื่อรักษาปริมาณน้ำในทุกหน่วยการทดลองให้คงที่ และทุก ๆ 7 วัน ทำการชั่งน้ำหนักปลาทุกตัวในแต่ละชุดการทดลองหาค่าน้ำหนักเฉลี่ย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตรารอด และการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 0, 750 และ 1000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละหน่วยการทดลอง ปริมาตร 1 ลิตร ด้วยขวดเก็บน้ำตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำดังนี้

- Total phosphorus (mg/l) และ Orthophosphate (mg/l) โดยวิธี Ascorbic acid method (Strickland and Parsons, 1997)
- Nitrite-N (mg/l) โดยวิธี Colorimetric method (Grasshoff, 1974)
- Total ammonia-N (mg/l) โดยวิธี Phenate method (Grasshoff, 1974)
- Alkalinity (mg/l) และ Hardness (mg/l) โดยวิธี Titration method (APHA-AWWA-AWCF, 1980)
- Biochemical Oxygen Demand (mg/l) โดยวิธี Azide Modification Method (APHA-AWWA-AWCF, 1980) บ่มในขวดบีโอดี ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน
- คลอโรฟิลล์ เอ (mg/m<sup>3</sup>) โดยวิธี Spectrophotometric method
- ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/l) ด้วยเครื่อง Dissolved Oxygen Meter และ ค่า pH ด้วย pH Meter

## 2.2 รายงานผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design) โดยมี 3 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองมี 4 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA (Analysis of Variance)

และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

## ผลและวิจารณ์

### ผล

#### 1. การเสริมเอนไซม์ไฟเตส ต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบของเลือด และการนำแร่ธาตุไปใช้ในปลานิลแปลงเพศ

##### 1.1 การเจริญเติบโต

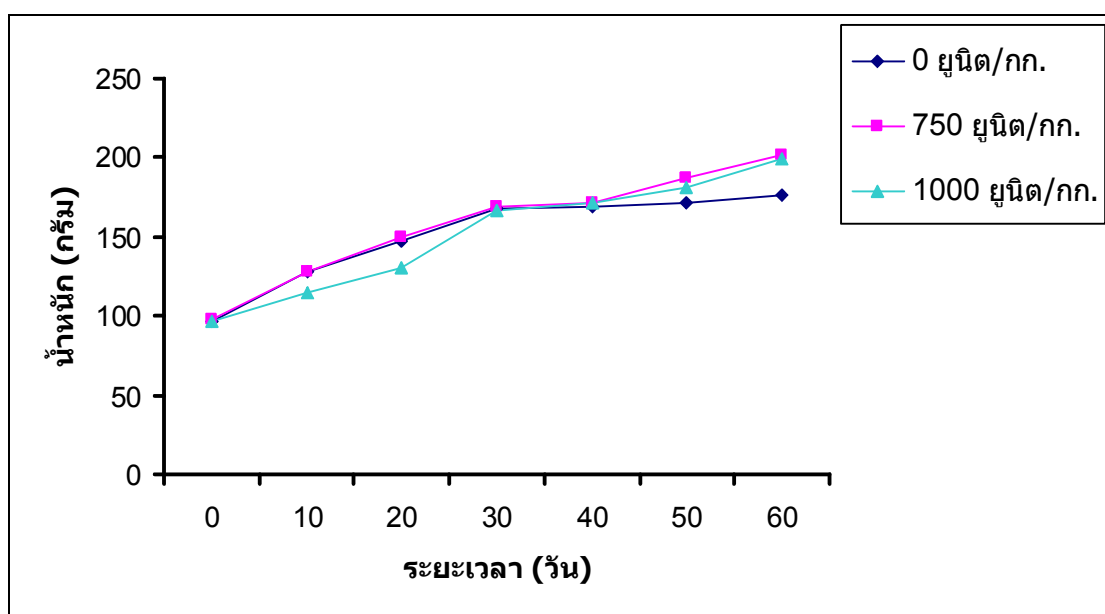
ปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 หน่วยต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และ 1,000 หน่วยต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 60 เท่ากับ 202.11 กรัม และ 199.26 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าน้ำหนักตัวเฉลี่ยของปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส ซึ่งเท่ากับ 176.74 กรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ดังตารางที่ 3 และภาพที่ 3 แต่ไม่มีความแตกต่างระหว่างน้ำหนักตัวเฉลี่ยของปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 หน่วยต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และ 1,000 หน่วยต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

ตารางที่ 3 น้ำหนักตัวเฉลี่ยของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 60 วัน

(หน่วย : กรัม)

| ระยะเวลา (วัน) | ชุดการทดลองที่ 1<br>(0 ยูนิต/อาหาร 1 กก.) | ชุดการทดลองที่ 2<br>(750 ยูนิต/อาหาร 1 กก.) | ชุดการทดลองที่ 3<br>(1000 ยูนิต/อาหาร 1 กก.) |
|----------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 0              | 96.1±7.16 <sup>a</sup>                    | 97.66±6.22 <sup>a</sup>                     | 96.83±9.43 <sup>a</sup>                      |
| 10             | 128.26±12.39 <sup>a</sup>                 | 128.31±11.08 <sup>a</sup>                   | 115.29±2.49 <sup>a</sup>                     |
| 20             | 147.5±11.02 <sup>a</sup>                  | 149.63±6.76 <sup>a</sup>                    | 130.38±6.26 <sup>a</sup>                     |
| 30             | 167.84±10.82 <sup>a</sup>                 | 168.83±3.14 <sup>a</sup>                    | 166.41±2.38 <sup>a</sup>                     |
| 40             | 168.64±10.38 <sup>a</sup>                 | 171.41±2.69 <sup>a</sup>                    | 170.94±5.57 <sup>a</sup>                     |
| 50             | 171.97±2.41 <sup>a</sup>                  | 186.64±21.34 <sup>a</sup>                   | 180.62±5.16 <sup>a</sup>                     |
| 60             | 176.74±2.59 <sup>a</sup>                  | 202.11±20.54 <sup>b</sup>                   | 199.26±6.08 <sup>b</sup>                     |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 3 น้ำหนักตัวเฉลี่ยของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 60 วัน



เมื่อสิ้นสุดการทดลองเลี้ยงปลานิลแปลงเพศเป็นเวลา 60 วัน ไม่พบความแตกต่างระหว่าง อัตรารอดของปลานิลแปลงเพศทั้ง 3 ชุดการทดลอง แต่ปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริม เอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ต่ำกว่าปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ส่วนการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และ 1,000 ยูนิต ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มากกว่าปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) (ตารางที่ 4)

**ตารางที่ 4** อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตรารอด การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 60 วัน

| ชุดการทดลอง       | อัตราการเปลี่ยน   |                    | การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน<br>(กรัม/วัน) | น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น<br>(กรัม) |
|-------------------|-------------------|--------------------|------------------------------------------|-------------------------------|
|                   | อาหารเป็นเนื้อ    | อัตรารอด           |                                          |                               |
| 1                 |                   |                    |                                          |                               |
| (0 ยูนิต/ กก.)    | $2.97 \pm 0.10^a$ | $95.75 \pm 0.50^a$ | $1.34 \pm 0.05^a$                        | $80.04 \pm 2.55^a$            |
| 2                 |                   |                    |                                          |                               |
| (750 ยูนิต/ กก.)  | $2.34 \pm 0.39^b$ | $98.00 \pm 0.04^a$ | $1.75 \pm 0.36^b$                        | $105.41 \pm 20.54^b$          |
| 3                 |                   |                    |                                          |                               |
| (1,000 ยูนิต/กก.) | $2.35 \pm 5.78^b$ | $91.00 \pm 0.05^a$ | $1.70 \pm 0.01^b$                        | $102.56 \pm 6.08^b$           |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

## 1.2 ปริมาณฟอสฟอรัสและแคลเซียมในชีรุ่ม

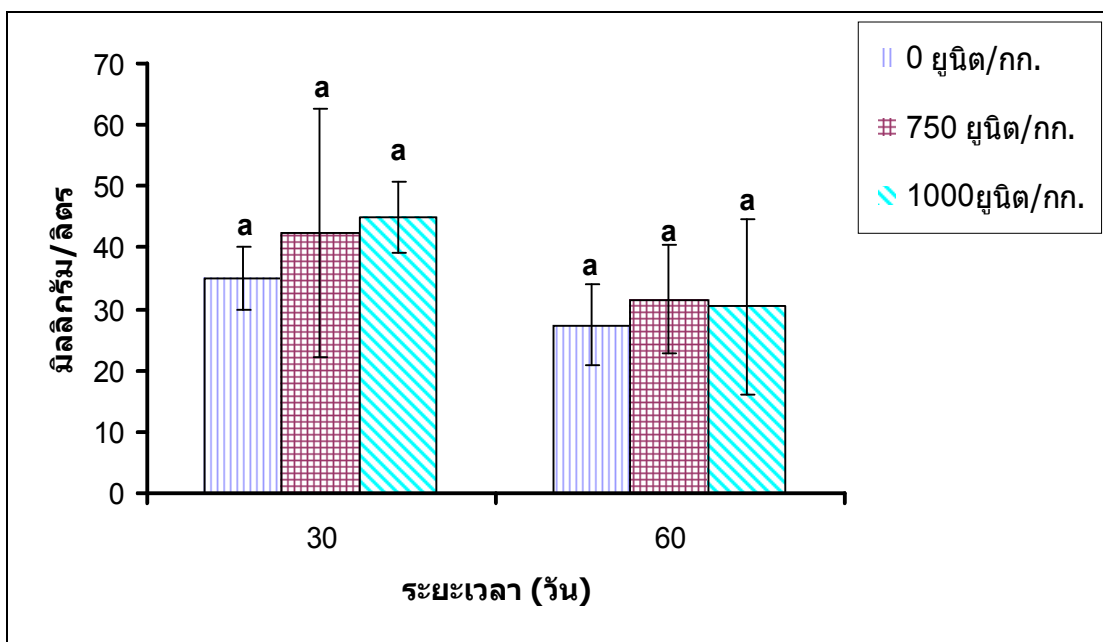
ในวันที่ 30 ของการทดลองปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีปริมาณฟอสฟอรัสและแคลเซียมในชีรุ่มสูงกว่าปลานิลกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตสอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ดังตารางที่ 5 แต่หลังจากสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 60 ปริมาณ

ฟอสฟอรัส และแคลเซียมในชีรุ่มของปลานิลแปลงเพศลดลงทุกชุดการทดลองและมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) (ตารางที่ 5 ภาพที่ 4 และ ภาพที่ 5)

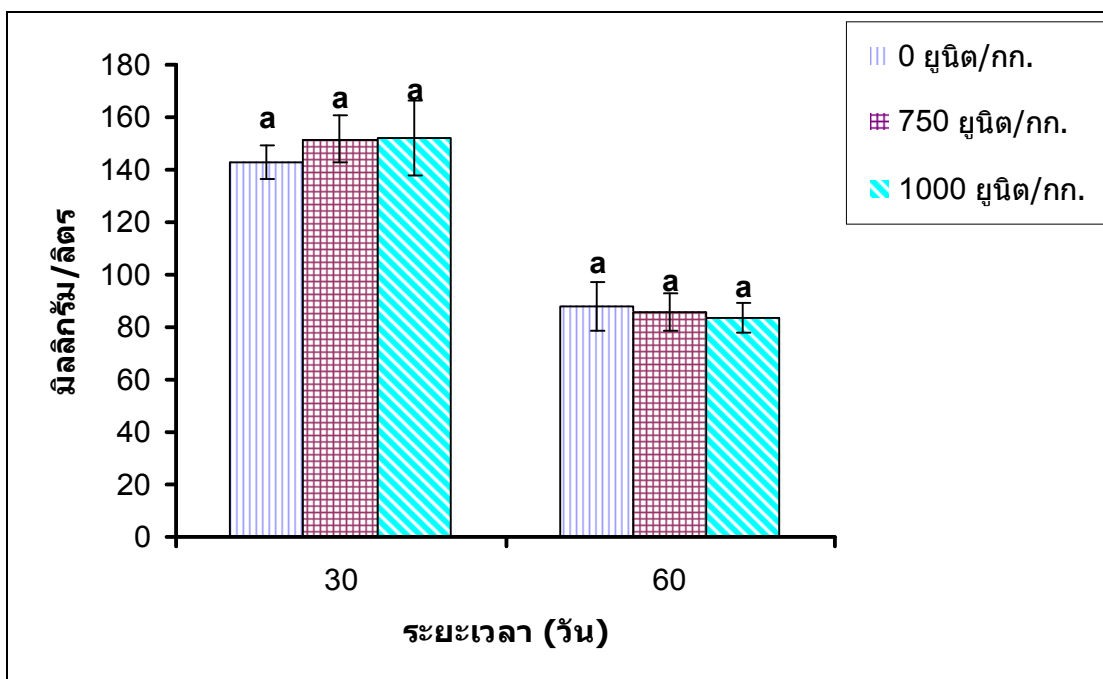
**ตารางที่ 5** ปริมาณฟอสฟอรัสและแคลเซียมในชีรุ่มของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริม เอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน

| ชุดการทดลอง | ฟอสฟอรัสในชีรุ่ม<br>(มิลลิกรัม/ลิตร) |                          | แคลเซียมในชีรุ่ม<br>(มิลลิกรัม/ลิตร) |                         |
|-------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
|             | 30 วัน                               | 60 วัน                   | 30 วัน                               | 60 วัน                  |
| 1           | 35.05±5.14 <sup>a</sup>              | 27.35±3.13 <sup>a</sup>  | 142.78±6.54 <sup>a</sup>             | 87.99±9.12 <sup>a</sup> |
| 2           | 42.39±20.33 <sup>a</sup>             | 31.53±11.70 <sup>a</sup> | 151.69±8.86 <sup>a</sup>             | 85.90±7.03 <sup>a</sup> |
| 3           | 45.07±5.78 <sup>a</sup>              | 30.40±4.38 <sup>a</sup>  | 151.96±14.22 <sup>a</sup>            | 83.70±5.86 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 4 ปริมาณฟอสฟอรัสในชีรุ่มของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน



ภาพที่ 5 ปริมาณแคลเซียมในชีรุ่มของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน

### 1.3 ปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในซีรัม

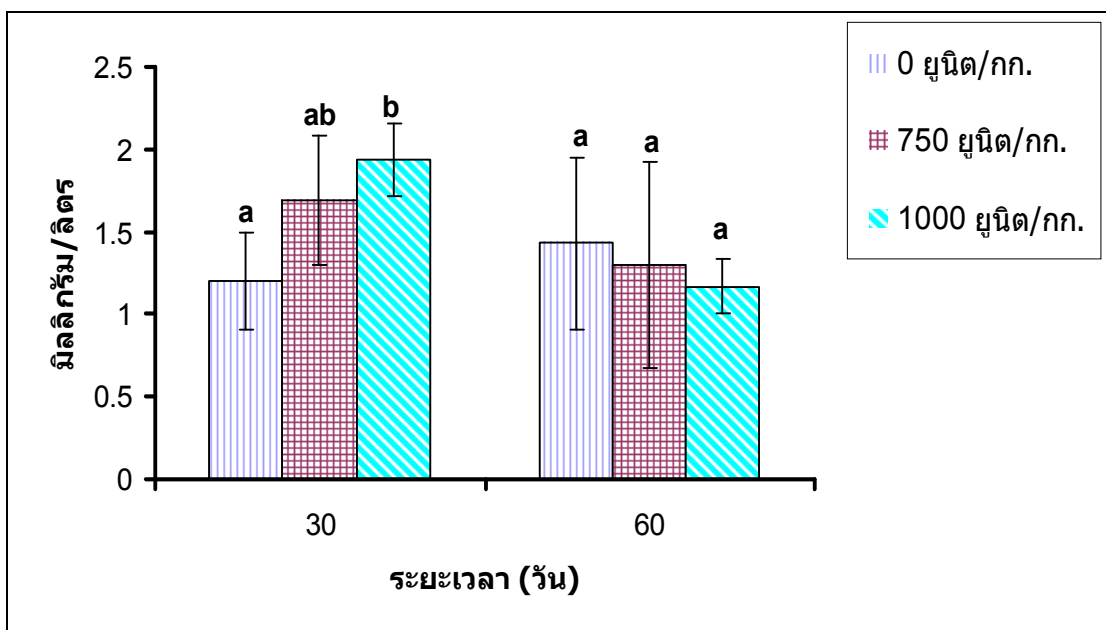
ในวันที่ 30 ของการทดลอง ปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีปริมาณเหล็กในซีรัมมากกว่าปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส แต่ไม่แตกต่างจากปริมาณเหล็กในซีรัมของปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 60 พบว่าปริมาณเหล็กในซีรัมของปลานิลแปลงเพศทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 6 และ ภาพที่ 6)

ในวันที่ 30 ของการทดลอง ปริมาณสังกะสีในซีรัมของปลานิลแปลงเพศทั้ง 3 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 60 ปริมาณสังกะสีในซีรัมของปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัมน้อยกว่าปริมาณสังกะสีในซีรัมของปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) (ตารางที่ 6 และ ภาพที่ 7)

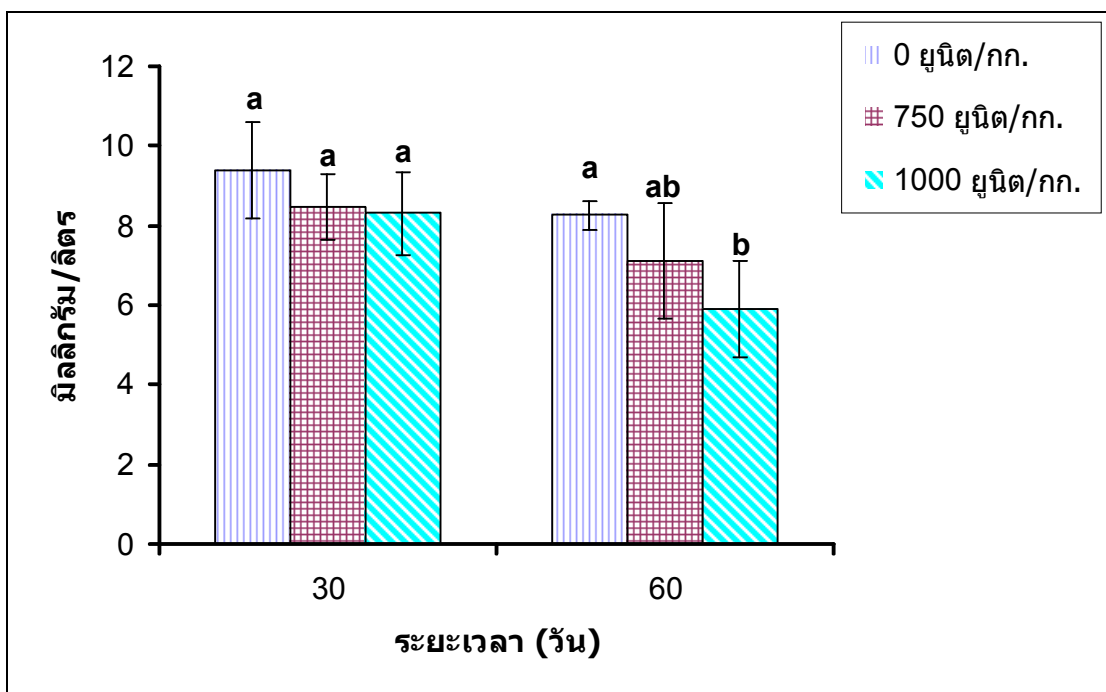
**ตารางที่ 6** ปริมาณเหล็กและสังกะสีในซีรัมของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน

| ชุดการทดลอง | (หน่วย : มิลลิกรัม/ลิตร) |                        |                        |                         |
|-------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
|             | เหล็กในซีรัม             |                        | สังกะสีในซีรัม         |                         |
|             | 30 วัน                   | 60 วัน                 | 30 วัน                 | 60 วัน                  |
| 1           | 1.2±0.29 <sup>a</sup>    | 1.43±0.52 <sup>a</sup> | 9.39±1.19 <sup>a</sup> | 8.26±0.36 <sup>a</sup>  |
| 2           | 1.69±0.39 <sup>ab</sup>  | 1.3±0.62 <sup>a</sup>  | 8.48±0.83 <sup>a</sup> | 7.11±1.45 <sup>ab</sup> |
| 3           | 1.94±0.22 <sup>b</sup>   | 1.17±0.17 <sup>a</sup> | 8.31±1.03 <sup>a</sup> | 5.88±1.21 <sup>b</sup>  |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 6 ปริมาณเหล็กในชีรุ่มของปถานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน



ภาพที่ 7 ปริมาณสังกะสีในชีรุ่มของปถานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน

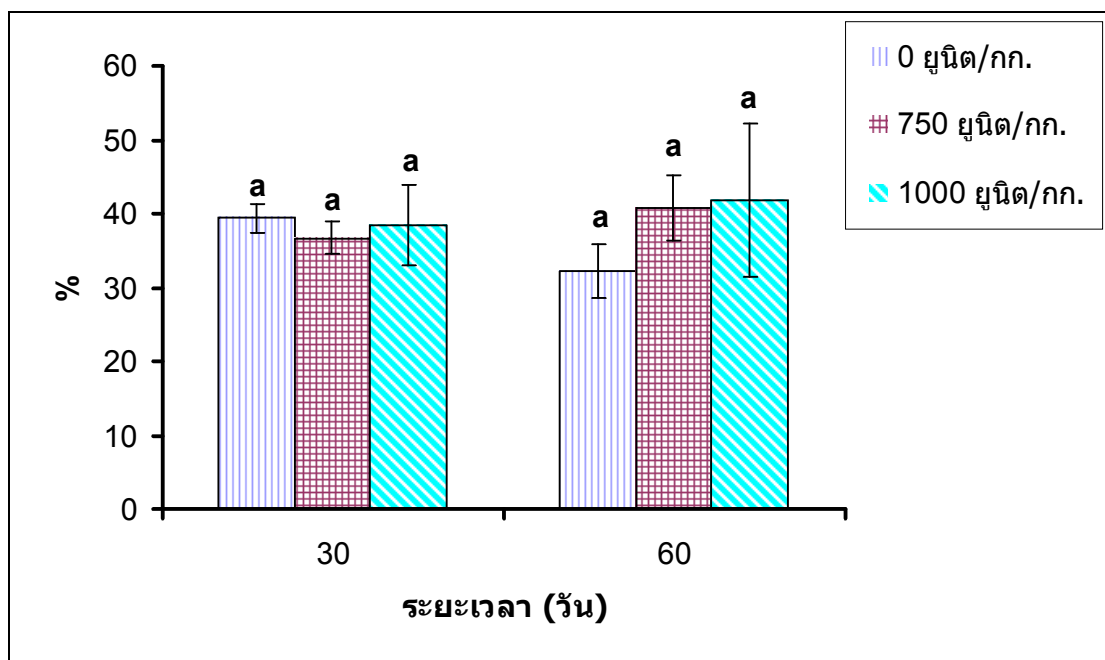
#### 1.4 ค่าฮีมาโตคริตและฮีโมโกลบิน

ค่าฮีมาโตคริตและฮีโมโกลบินของปลานิลแปลงเพศในระหว่างการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยในวันที่ 30 และ 60 ของการทดลองไม่พบความแตกต่างทางสถิติของค่าดังกล่าวในปลานิลทุกชุดการทดลอง( $p>0.05$ ) (ตารางที่ 7 ภาพที่ 8 และ ภาพที่ 9)

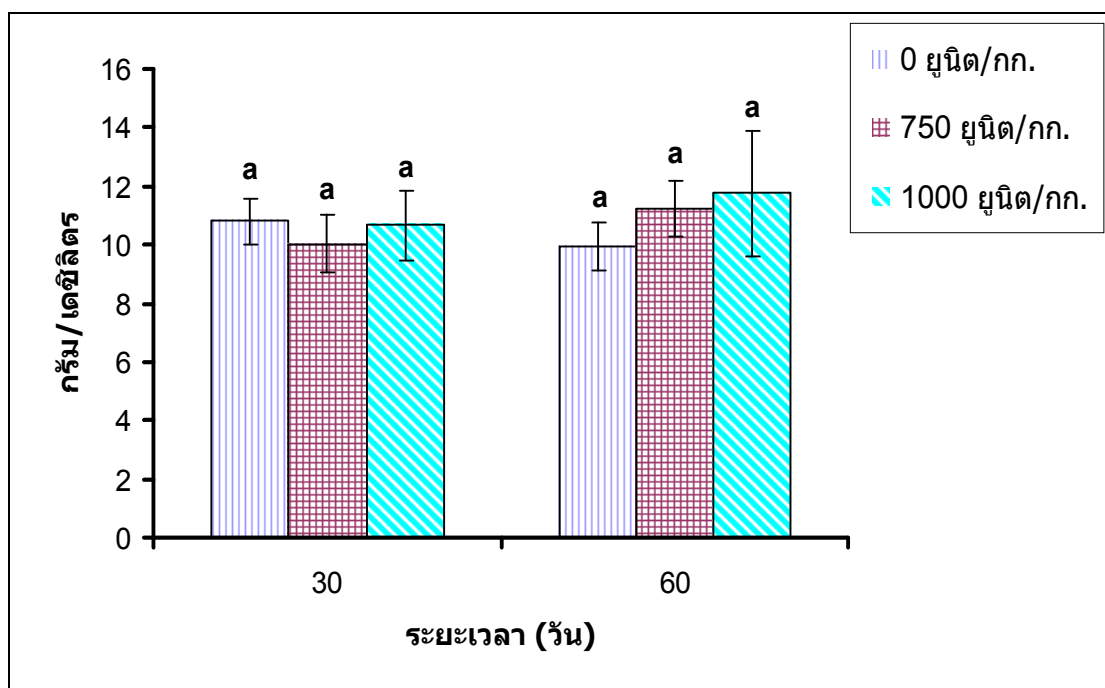
ตารางที่ 7 ฮีมาโตคริตและฮีโมโกลบินของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน

| ชุดการทดลอง | ฮีมาโตคริต (%)          |                         | ฮีโมโกลบิน (กรัม/เดซิลิตร) |                          |
|-------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------|
|             | 30 วัน                  | 60 วัน                  | 30 วัน                     | 60 วัน                   |
| 1           | 10.80±0.79 <sup>a</sup> | 9.94±0.80 <sup>a</sup>  | 39.36±2.01 <sup>a</sup>    | 32.24±3.59 <sup>a</sup>  |
| 2           | 10.04±0.99 <sup>a</sup> | 11.25±0.96 <sup>a</sup> | 36.72±2.30 <sup>a</sup>    | 40.73±4.46 <sup>a</sup>  |
| 3           | 10.67±1.21 <sup>a</sup> | 11.76±2.15 <sup>a</sup> | 38.47±5.40 <sup>a</sup>    | 41.76±10.37 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 8 สีมาโตกริตของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน



ภาพที่ 9 สีโมโกลบีนของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน

### 1.5 ปริมาณฟอสฟอรัสในกระดูกและเอ็นกระดูก

ในวันที่ 30 และ วันที่ 60 ของการทดลอง ปริมาณฟอสฟอรัสในกระดูก และปริมาณเอ็นกระดูกของปลานิลแปลงเพศทั้ง 3 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p>0.05$ ) และมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันคือ ในวันที่ 60 ของการทดลอง ปริมาณฟอสฟอรัสในกระดูก และปริมาณเอ็นกระดูก จะลดลงจากในวันที่ 30 ของการทดลอง (ตารางที่ 8 ภาพที่ 10 และ ภาพที่ 11)

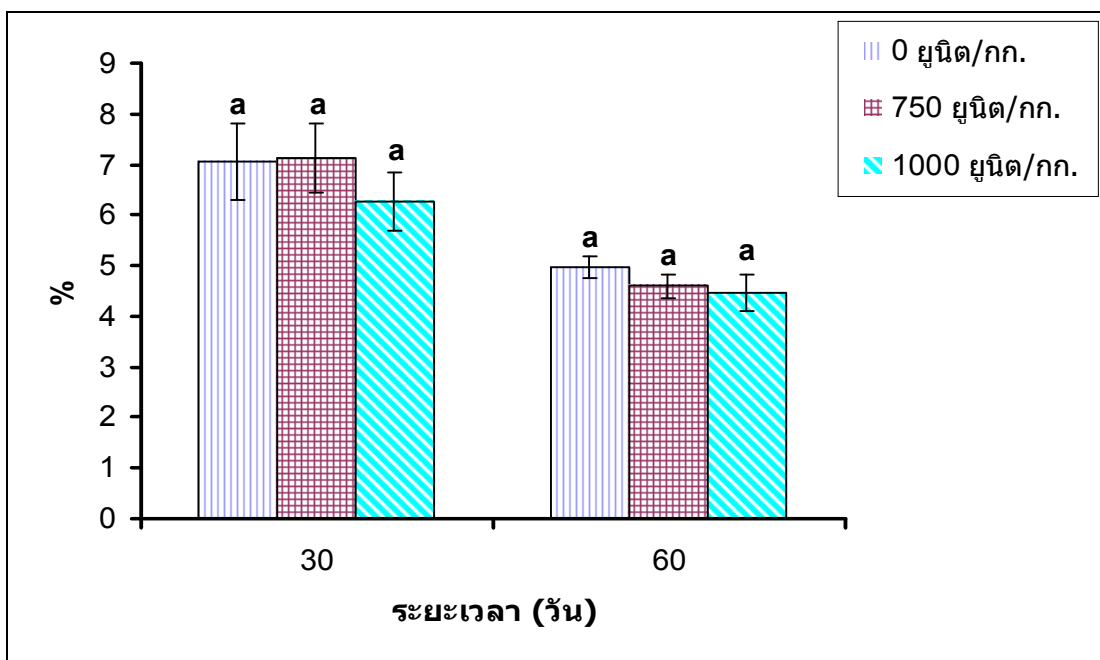
**ตารางที่ 8** ปริมาณฟอสฟอรัสในกระดูกและเอ็นกระดูก ของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริม เอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน

(หน่วย : %)

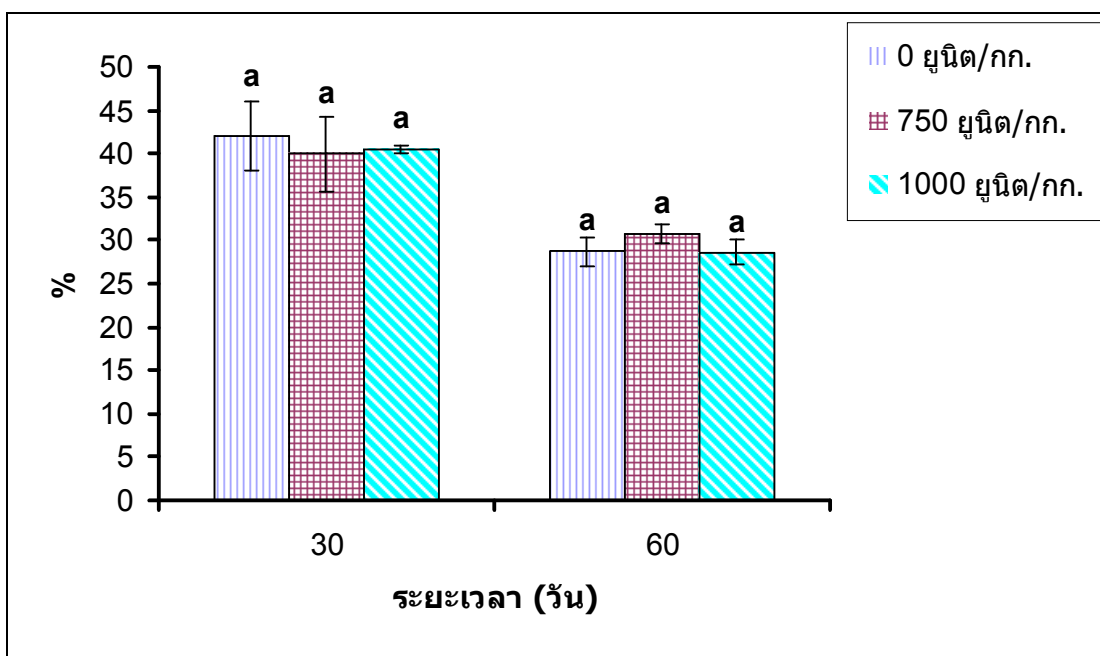
| ชุดการทดลอง | ฟอสฟอรัสในกระดูก       |                        | เอ็นกระดูก              |                         |
|-------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
|             | 30 วัน                 | 60 วัน                 | 30 วัน                  | 60 วัน                  |
| 1           | 7.06±0.75 <sup>a</sup> | 4.99±0.20 <sup>a</sup> | 42.08±3.93 <sup>a</sup> | 28.73±1.66 <sup>a</sup> |
| 2           | 7.14±0.69 <sup>a</sup> | 4.60±0.24 <sup>a</sup> | 39.95±4.38 <sup>a</sup> | 30.77±1.19 <sup>a</sup> |
| 3           | 6.27±0.57 <sup>a</sup> | 4.47±0.37 <sup>a</sup> | 40.47±0.40 <sup>a</sup> | 28.61±1.37 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %





ภาพที่ 10 ปริมาณฟอสฟอรัสในกระดุกของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน



ภาพที่ 11 ถ้ากระดุกของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 30 และ 60 วัน

## 2. การเสริมเอนไซม์ไฟเตส ต่อคุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศ

### 2.1 การเจริญเติบโต

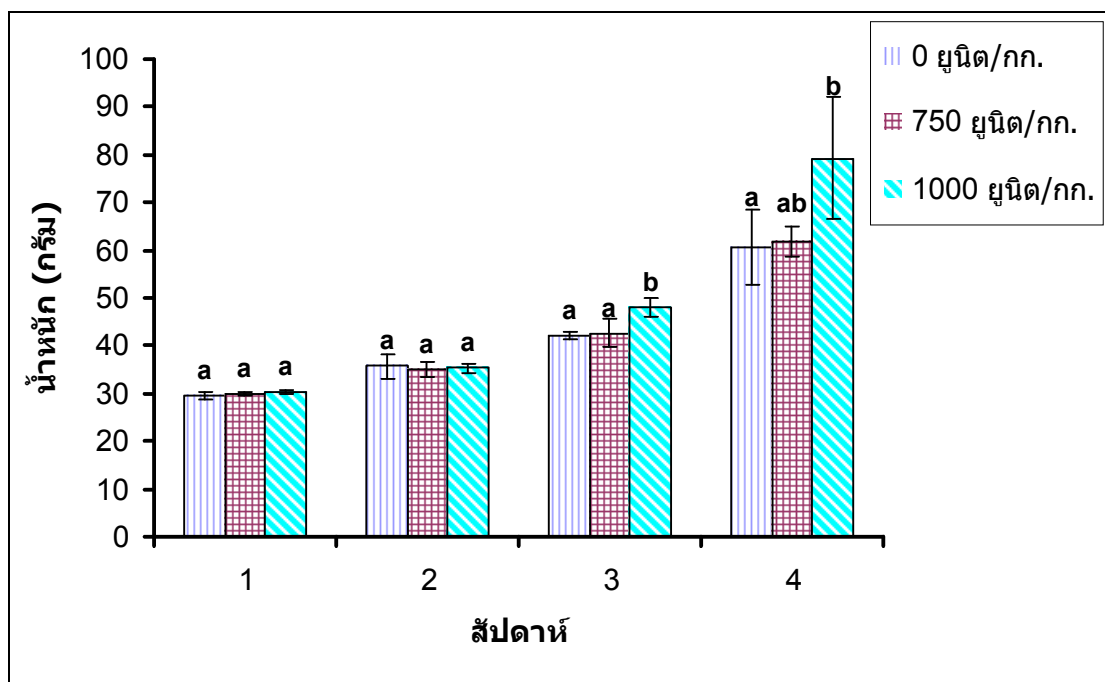
ในสัปดาห์ที่ 3 ของการทดลอง ปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยมากกว่าปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 4 ปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ยังคงมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยมากกว่าปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างจากปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม (ตารางที่ 9 และ ภาพที่ 12)

ตารางที่ 9 น้ำหนักตัวเฉลี่ยของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับเมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์

(หน่วย: กรัม)

| ชุดการทดลอง | สัปดาห์                 |                         |                         |                          |
|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
|             | 1                       | 2                       | 3                       | 4                        |
| 1           | 29.48±0.74 <sup>a</sup> | 35.63±2.74 <sup>a</sup> | 42.19±0.89 <sup>a</sup> | 60.72±7.79 <sup>a</sup>  |
| 2           | 30.00±0.29 <sup>a</sup> | 35.1±1.55 <sup>a</sup>  | 42.59±2.96 <sup>a</sup> | 61.89±3.09 <sup>ab</sup> |
| 3           | 30.27±0.49 <sup>a</sup> | 35.24±0.97 <sup>a</sup> | 48.03±2.00 <sup>b</sup> | 79.33±12.86 <sup>b</sup> |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 12 น้ำหนักตัวเฉลี่ยของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดของปลานิลแปลงเพศทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 4 สัปดาห์ แต่การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มากกว่าปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 10)

**ตารางที่ 10** อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการอด การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เพิ่มขึ้น ของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์

| ชุดการทดลอง | อัตราการเปลี่ยน        |                         | การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน<br>(กรัม/วัน) | น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น<br>(กรัม) |
|-------------|------------------------|-------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|
|             | อาหารเป็นเนื้อ         | อัตราการอด              |                                          |                               |
| 1           | 1.21±0.29 <sup>a</sup> | 95.00±5.77 <sup>a</sup> | 1.08±0.22 <sup>a</sup>                   | 31.24±7.18 <sup>a</sup>       |
| 2           | 1.49±0.11 <sup>a</sup> | 92.50±9.57 <sup>a</sup> | 1.06±0.10 <sup>a</sup>                   | 31.88±2.80 <sup>a</sup>       |
| 3           | 0.88±0.80 <sup>a</sup> | 87.50±0.50 <sup>a</sup> | 1.64±0.42 <sup>b</sup>                   | 49.01±12.28 <sup>b</sup>      |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

## 2.2 ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำ

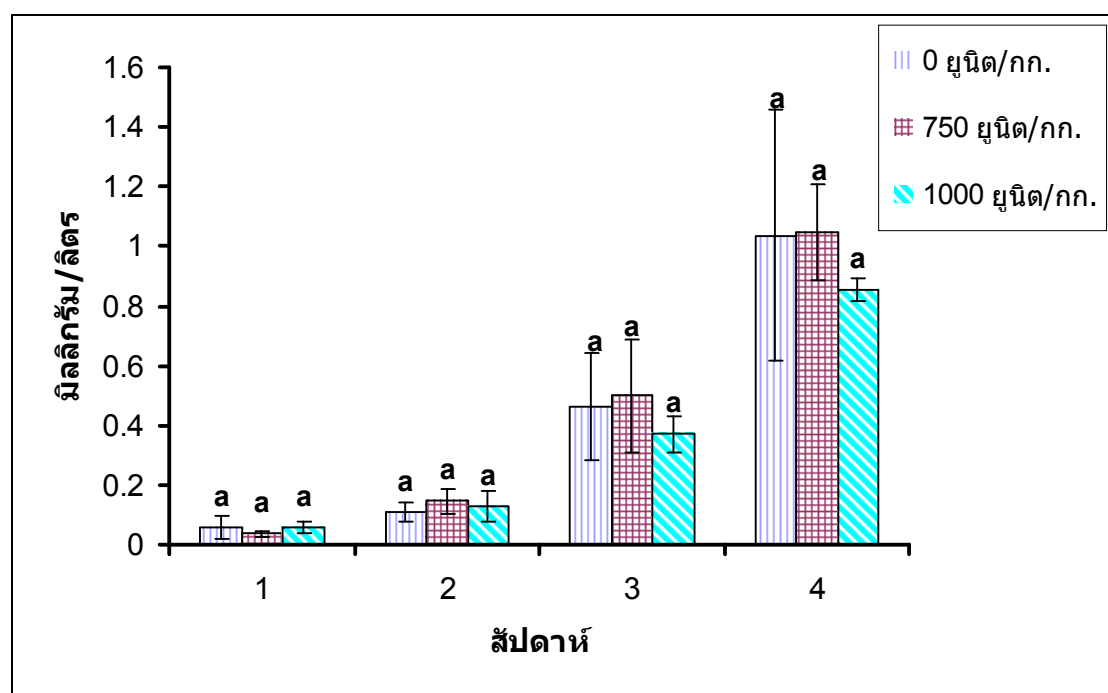
ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำ ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเลี้ยงปลานานขึ้น แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลองในแต่ละสัปดาห์ของการเก็บตัวอย่าง ( $p>0.05$ ) แต่ในช่วงปลายของการทดลอง ในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 น้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีปริมาณฟอสฟอรัสรวมน้อยกว่า ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) (ตารางที่ 11 และภาพที่ 13)

ตารางที่ 11 ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์  
ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์

(หน่วย: มิลลิกรัม/ลิตร)

| ชุดการทดลอง | สัปดาห์                  |                          |                          |                          |
|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|             | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        |
| 1           | 0.0586±0.04 <sup>a</sup> | 0.1101±0.03 <sup>a</sup> | 0.4651±0.18 <sup>a</sup> | 1.0366±0.42 <sup>a</sup> |
| 2           | 0.0361±0.01 <sup>a</sup> | 0.1447±0.04 <sup>a</sup> | 0.4989±0.19 <sup>a</sup> | 1.049±0.16 <sup>a</sup>  |
| 3           | 0.0564±0.02 <sup>a</sup> | 0.128±0.05 <sup>a</sup>  | 0.3705±0.06 <sup>a</sup> | 0.8534±0.04 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ  
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 13 ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์  
ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์

## 2.3 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำ

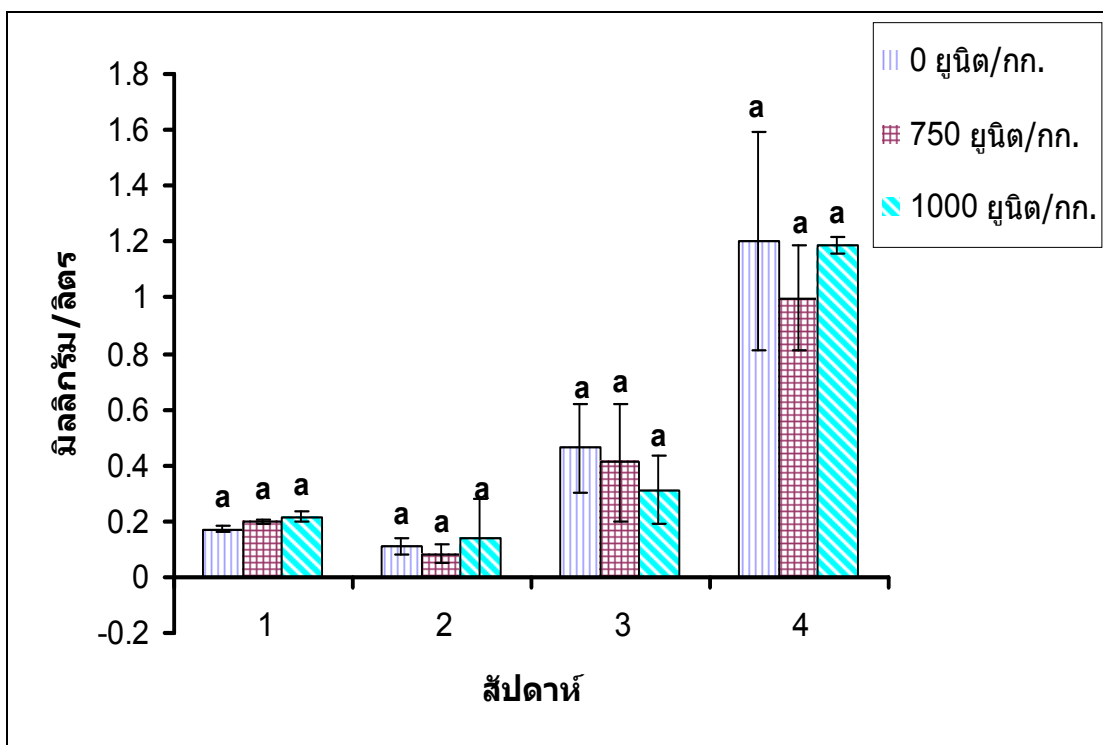
ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำ ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเลี้ยงปลานานขึ้น แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลองในแต่ละสัปดาห์ของการเก็บตัวอย่าง (ตารางที่ 12 และภาพที่ 14)

**ตารางที่ 12** ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์

(หน่วย: มิลลิกรัม/ลิตร)

| ชุดการทดลอง | สัปดาห์                  |                          |                          |                          |
|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|             | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        |
| 1           | 0.1722±0.01 <sup>a</sup> | 0.1106±0.03 <sup>a</sup> | 0.4622±0.16 <sup>a</sup> | 1.2022±0.39 <sup>a</sup> |
| 2           | 0.1988±0.01 <sup>a</sup> | 0.0838±0.03 <sup>a</sup> | 0.4116±0.21 <sup>a</sup> | 0.9989±0.19 <sup>a</sup> |
| 3           | 0.2165±0.02 <sup>a</sup> | 0.1382±0.14 <sup>a</sup> | 0.3116±0.12 <sup>a</sup> | 1.1877±0.03 <sup>a</sup> |

**หมายเหตุ** ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 14 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์

#### 2.4 ปริมาณแอมโมเนียและไนโตรเจนในน้ำ

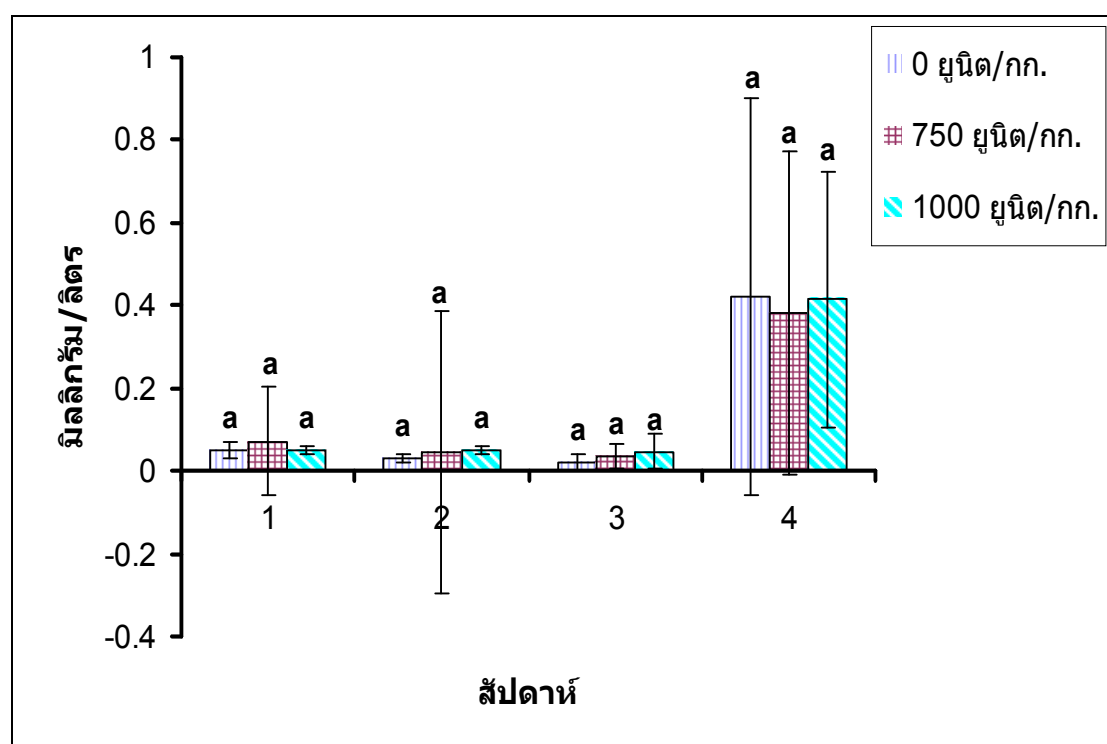
ปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำ และปริมาณไนโตรเจนในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดช่วงการทดลองเป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 15, ตารางที่ 16, ภาพที่ 13 และภาพที่ 14)

ตารางที่ 13 ปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์  
ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์

(หน่วย: มิลลิกรัม/ลิตร)

| ชุดการทดลอง | สัปดาห์                  |                          |                          |                          |
|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|             | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        |
| 1           | 0.0509±0.02 <sup>a</sup> | 0.0322±0.01 <sup>a</sup> | 0.0192±0.02 <sup>a</sup> | 0.4217±0.48 <sup>a</sup> |
| 2           | 0.0714±0.06 <sup>a</sup> | 0.0460±0.34 <sup>a</sup> | 0.0333±0.03 <sup>a</sup> | 0.3802±0.40 <sup>a</sup> |
| 3           | 0.0499±0.01 <sup>a</sup> | 0.0522±0.01 <sup>a</sup> | 0.0473±0.04 <sup>a</sup> | 0.4139±0.31 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 15 ปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์  
ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์

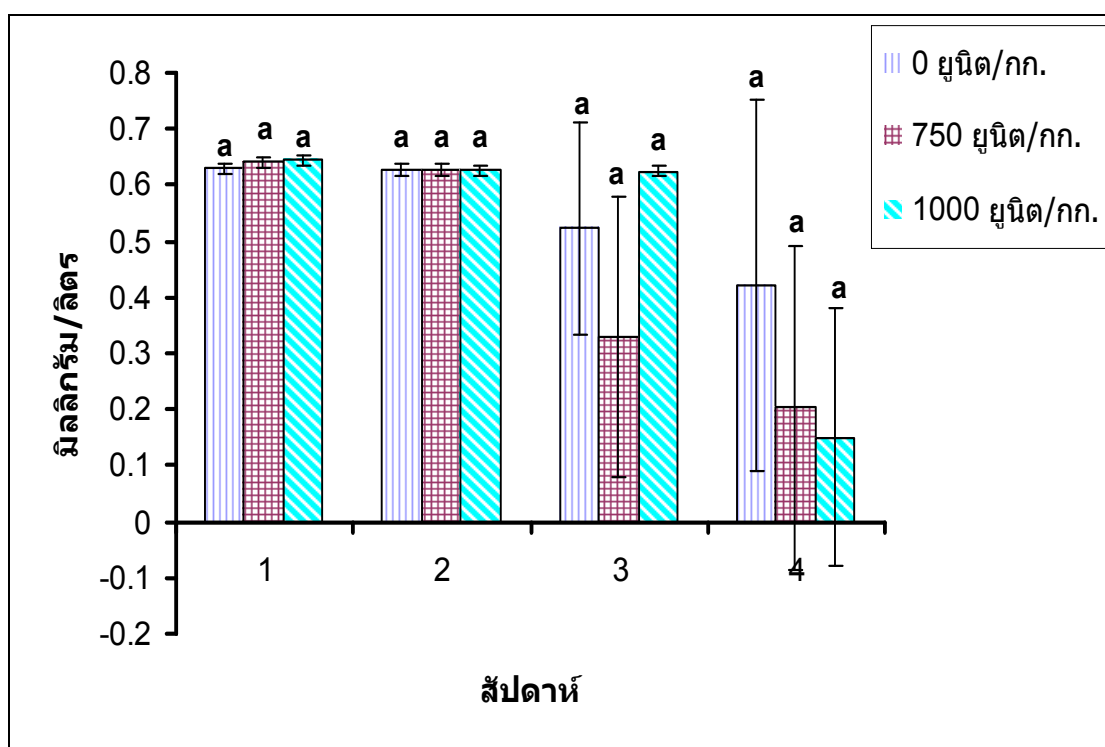


ตารางที่ 14 ปริมาณไนโตรเจนในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์

(หน่วย: มิลลิกรัม/ลิตร)

| ชุดการทดลอง | สัปดาห์                  |                          |                          |                          |
|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|             | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        |
| 1           | 0.6291±0.01 <sup>a</sup> | 0.628±0.01 <sup>a</sup>  | 0.5236±0.19 <sup>a</sup> | 0.421±0.34 <sup>a</sup>  |
| 2           | 0.6408±0.01 <sup>a</sup> | 0.6271±0.01 <sup>a</sup> | 0.3303±0.25 <sup>a</sup> | 0.2028±0.29 <sup>a</sup> |
| 3           | 0.6438±0.01 <sup>a</sup> | 0.6263±0.01 <sup>a</sup> | 0.6249±0.01 <sup>a</sup> | 0.1499±0.23 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 16 ปริมาณไนโตรเจนในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์

## 2.5 ค่าบีโอดี

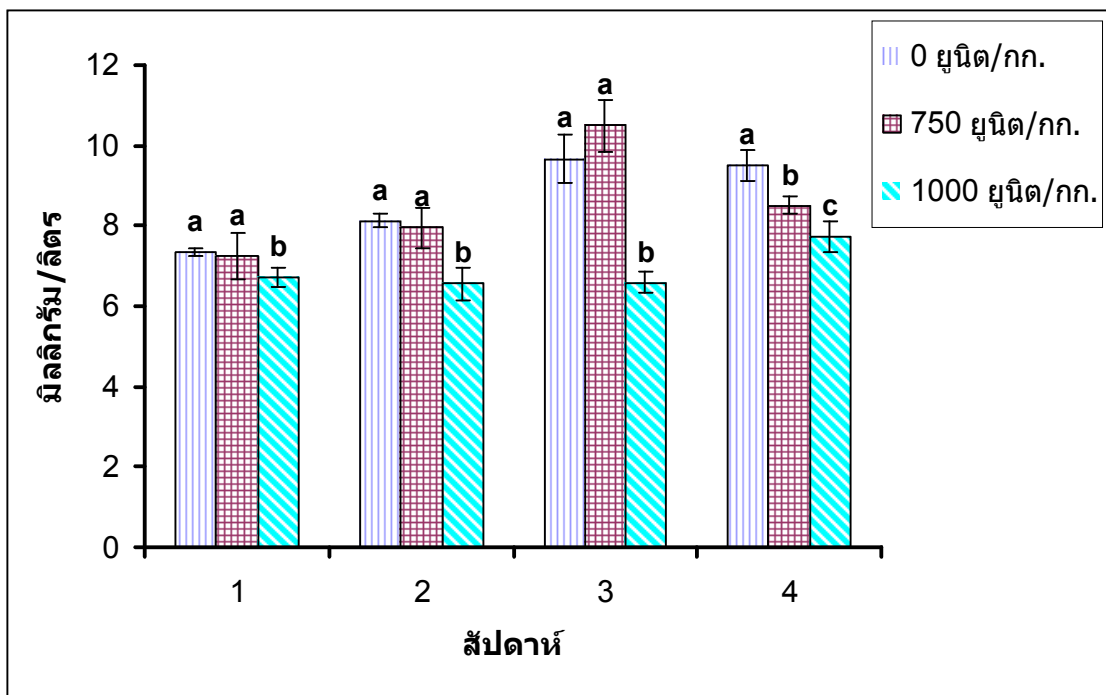
น้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีค่าบีโอดีต่ำกว่า น้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัมและ กลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ของการทดลอง จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 4 แต่ค่าบีโอดีในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีค่าต่ำกว่าน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตสในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 4 น้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีค่าบีโอดีต่ำกว่าน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม 0.79 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าบีโอดีต่ำกว่า น้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส 1.78 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีค่าบีโอดีต่ำกว่า น้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส 0.99 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 15 และ ภาพที่ 17)

ตารางที่ 15 บีโอดีในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์

(หน่วย: มิลลิกรัม/ลิตร)

| ชุดการทดลอง | สัปดาห์                |                        |                         |                        |
|-------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
|             | 1                      | 2                      | 3                       | 4                      |
| 1           | 7.35±0.11 <sup>a</sup> | 8.13±0.17 <sup>a</sup> | 9.67±0.61 <sup>a</sup>  | 9.51±0.37 <sup>a</sup> |
| 2           | 7.25±0.59 <sup>a</sup> | 7.95±0.51 <sup>a</sup> | 10.49±0.63 <sup>a</sup> | 8.52±0.20 <sup>b</sup> |
| 3           | 6.71±0.25 <sup>b</sup> | 6.56±0.42 <sup>b</sup> | 6.6±0.26 <sup>b</sup>   | 7.73±0.38 <sup>c</sup> |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 17 บีโอดีในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์

## 2.6 ค่าความเป็นต่างและความกระด้าง

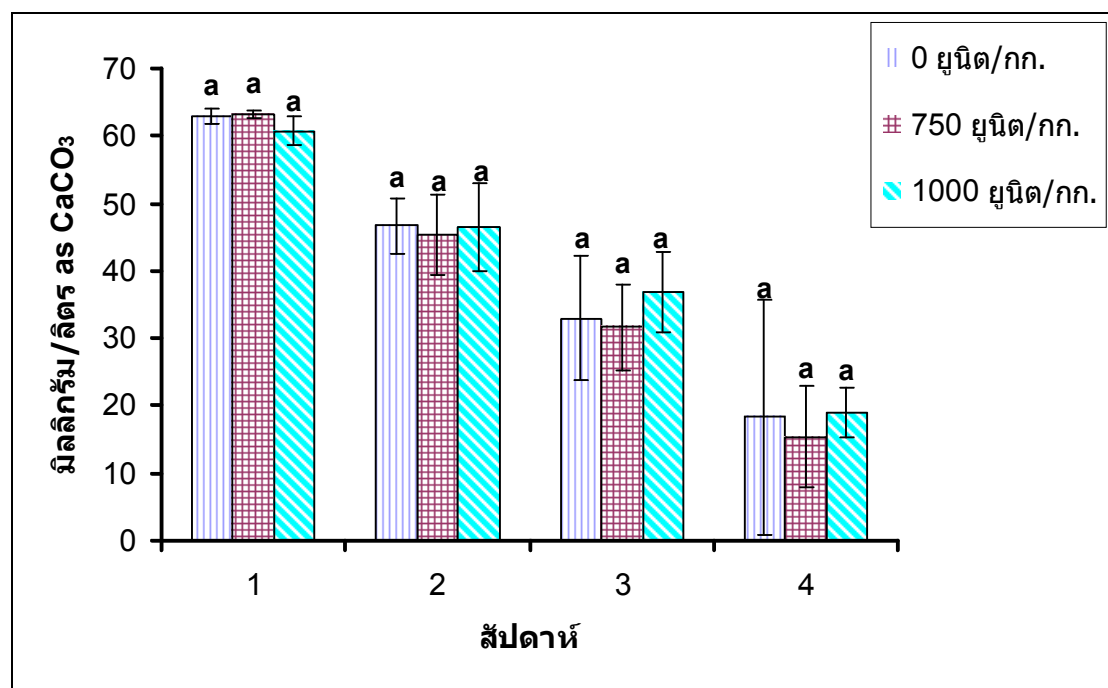
ความเป็นต่างและความกระด้างของน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ตลอดช่วงการทดลองเป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 18, ตารางที่ 19, ภาพที่ 16 และภาพที่ 17) และความเป็นต่างในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลง เมื่อเลี้ยงปลานานขึ้น

ตารางที่ 16 ความเป็นต่างของน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตส  
ต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์

(หน่วย: มิลลิกรัม/ลิตร)

| ชุดการทดลอง | สัปดาห์                 |                         |                         |                          |
|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
|             | 1                       | 2                       | 3                       | 4                        |
| 1           | 63.00±1.15 <sup>a</sup> | 46.67±4.16 <sup>a</sup> | 33.00±9.17 <sup>a</sup> | 18.33±17.39 <sup>a</sup> |
| 2           | 63.25±0.50 <sup>a</sup> | 45.33±5.86 <sup>a</sup> | 31.67±6.43 <sup>a</sup> | 15.33±7.51 <sup>a</sup>  |
| 3           | 60.75±2.22 <sup>a</sup> | 46.50±6.56 <sup>a</sup> | 36.75±5.91 <sup>a</sup> | 19.00±3.74 <sup>a</sup>  |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ  
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



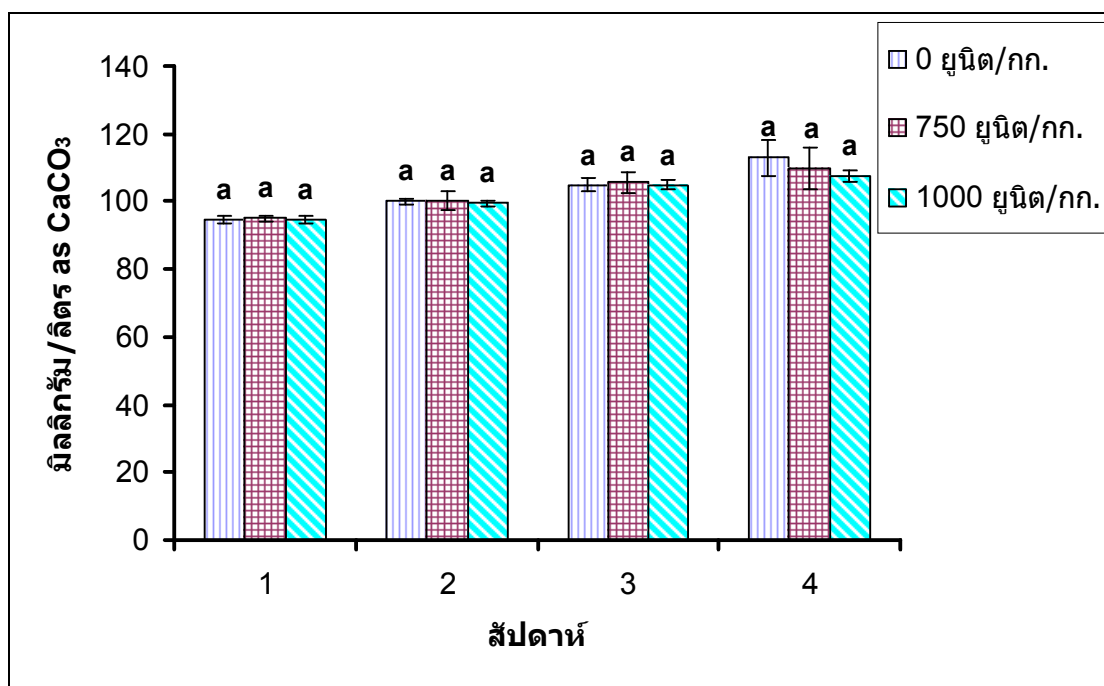
ภาพที่ 18 ความเป็นต่างในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตส  
ต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์

ตารางที่ 17 ความกระด้างในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตส  
ต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์

(หน่วย: มิลลิกรัม/ลิตร)

| ชุดการทดลอง | สัปดาห์                 |                        |                          |                          |
|-------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
|             | 1                       | 2                      | 3                        | 4                        |
| 1           | 94.38±1.11 <sup>a</sup> | 100±1.00 <sup>a</sup>  | 105±1.73 <sup>a</sup>    | 113±2.59 <sup>a</sup>    |
| 2           | 95±0.82 <sup>a</sup>    | 100±2.83 <sup>a</sup>  | 105.67±3.06 <sup>a</sup> | 109.67±6.35 <sup>a</sup> |
| 3           | 94.75±0.96 <sup>a</sup> | 99.5±1.00 <sup>a</sup> | 105±1.41 <sup>a</sup>    | 107.75±1.71 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 19 ความกระด้างในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตส  
ต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์

## 2.7 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ในทุกชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง และอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการทดลอง

**ตารางที่ 18** ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริม เอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์

(หน่วย: มิลลิกรัม/ลิตร)

| ชุดการทดลอง | สัปดาห์                 |                        |                        |                        |
|-------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|             | 1                       | 2                      | 3                      | 4                      |
| 1           | 8.32 ±1.31 <sup>a</sup> | 7.77±0.95 <sup>a</sup> | 8.13±0.15 <sup>a</sup> | 7.70±0.20 <sup>a</sup> |
| 2           | 7.45±1.58 <sup>a</sup>  | 7.97±0.40 <sup>a</sup> | 8.17±0.31 <sup>a</sup> | 7.77±0.21 <sup>a</sup> |
| 3           | 7.75±0.58 <sup>a</sup>  | 6.88±0.85 <sup>a</sup> | 7.80±0.26 <sup>a</sup> | 7.73±0.19 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

## 2.8 ฟีเอช

ฟีเอชของน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศ ในทุกชุดการทดลอง มีแนวโน้มลดลง เมื่อเลี้ยงปลานานขึ้น แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ระหว่างชุดการทดลองในแต่ละสัปดาห์ของการเก็บ และค่าฟีเอชอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการทดลอง

**ตารางที่ 19** พีเอชในน้ำ ที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสต่างกัน 3 ระดับ เมื่อเลี้ยงในตู้กระจกเป็นเวลา 4 สัปดาห์

(หน่วย: มิลลิกรัม/ลิตร)

| ชุดการทดลอง | สัปดาห์                 |                          |                          |                          |
|-------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|             | 1                       | 2                        | 3                        | 4                        |
| 1           | 7.6 ± 0.15 <sup>a</sup> | 7.75 ± 0.58 <sup>a</sup> | 7.13 ± 0.25 <sup>a</sup> | 6.93 ± 0.45 <sup>a</sup> |
| 2           | 7.7 ± 0.1 <sup>a</sup>  | 7.57 ± 0.58 <sup>a</sup> | 7.07 ± 0.46 <sup>a</sup> | 7.07 ± 0.38 <sup>a</sup> |
| 3           | 7.7 ± 0.8 <sup>a</sup>  | 7.63 ± 0.13 <sup>a</sup> | 7.25 ± 0.21 <sup>a</sup> | 7.05 ± 0.19 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

## 2.8 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำ

น้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศทั้ง 3 ชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลาการทดลอง 4 สัปดาห์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ น้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้

## วิจารณ์

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณเอนไซม์ไฟเตสในอาหารทดลองทั้ง 3 สูตร (ตารางที่ 2) พบ ปริมาณเอนไซม์ไฟเตสใกล้เคียงกับปริมาณเอนไซม์ไฟเตสที่เสริมลงในสูตรอาหาร แต่ในอาหารทดลองสูตรควบคุมที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส (อาหารทดลองสูตรที่ 1) พบเอนไซม์ไฟเตส 53 ยูนิต/อาหาร 1 กิโลกรัม ซึ่งเป็นเอนไซม์ไฟเตสที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติของวัตถุดิบในสูตรอาหาร เพื่อใช้ในการงอกของเมล็ดพืชโดยอาศัยปฏิกิริยาของเอนไซม์ไฟเตส กับ โมเลกุลของไฟเตท เป็นตัวให้ฟอสฟอรัส และปลดปล่อยแร่ธาตุประจุบวกออกมา (Kigel and Gad, 1995) จึงทำให้พบเอนไซม์ไฟเตสในอาหารทดลองสูตรควบคุม อย่างไรก็ตามปริมาณเอนไซม์ไฟเตสที่มีอยู่ตามธรรมชาติในวัตถุดิบอาหารสัตว์มีปริมาณเพียงเล็กน้อย ซึ่งจากการทดลองเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารปลานิลแปลงเพศพบว่า ต้องเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิต/อาหาร 1 กิโลกรัมเป็นอย่างน้อยจึงจะทำให้การใช้ประโยชน์จากอาหารที่มีพืชเป็นส่วนประกอบหลักได้ดี

## 1. จากผลทดลองของการเสริมเอนไซม์ไฟเตส ต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบของเลือด และการนำแร่ธาตุไปใช้ในปลานิลแปลงเพศ

### 1.1 การเจริญเติบโต

การเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิต/อาหาร 1 กิโลกรัม และ 1000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ในอาหารปลานิลแปลงเพศน้ำหนักเฉลี่ย 96.7 กรัม เป็นเวลา 60 วัน ช่วยให้ การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น สูงกว่าในกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำลง เนื่องจากเอนไซม์ไฟเตสที่เสริมลงในอาหารทดลอง ทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะเอสเทอร์ของฟอสฟอรัสใน โมเลกุลไฟเตท ทำให้แร่ธาตุประจุบวก เช่น แคลเซียม เหล็ก และสังกะสี ที่ถูกจับโดยหมู่ฟอสเฟตดังกล่าวถูกปล่อยเป็นอิสระ อยู่ในรูปที่ปลานิลสามารถดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ได้ รวมทั้งหมู่ฟอสเฟต 6 โมเลกุล และอินซิทอล (สร้อย, 2546) ก็จะอยู่ในรูปที่เป็นอิสระที่ปลานิลสามารถดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ได้เช่นกัน จะเห็นว่าโมเลกุลของไฟเตท ซึ่งเป็นสารต้านโภชนาการที่ปลานิลไม่สามารถดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ได้ เมื่อทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ไฟเตสที่เสริมลงในอาหารแล้ว ไฟเตทจะถูกย่อยให้อยู่ในรูปที่ปลานิลสามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งโมเลกุล ดังนั้นเอนไซม์ไฟเตสจึงเป็นส่วนสำคัญที่มีบทบาทในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหารที่มีไฟเตทได้สูงขึ้น ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำ เนื่องจากปลานิลสามารถใช้ประโยชน์จากโภชนาในอาหารได้สูงขึ้น และเป็นการลดการสูญเสียโภชนาที่มีอยู่แล้วในอาหาร ที่ปลาไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้สูงขึ้น

การเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 และ 1000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ในปลานิลแปลงเพศขนาดเฉลี่ย 96.7 กรัม ทำให้มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำกว่าปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) สอดคล้องกับการทดลองของ Liebert and Portz (2005) ที่ทำการทดลองเสริมเอนไซม์ไฟเตสในปลานิลแปลงเพศขนาดเฉลี่ย 13.5 กรัม จะเห็นได้ว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารปลานิลแปลงเพศทำให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหารสูงขึ้น ซึ่งจะสังเกตได้จากน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสในระดับที่เหมาะสมและมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำกว่าปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นั้นแสดงว่า



อาหารที่มีปริมาณเท่ากัน แต่การเสริมเอนไซม์ไฟเตสลงในอาหารในระดับที่เหมาะสมกับ ชนิด และ อายุของปลานิลแปลงเพศจะสามารถเปลี่ยนเป็นเนื้อได้สูงกว่า

อัตราการรอดของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตส 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปลานิลแปลงเพศในกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ในการทดลองที่ 2 ซึ่งเลี้ยงในตู้กระจก มีอัตราการต่ำลง (ตารางที่ 4) เนื่องจากปลานิลแปลงเพศในกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัมมีการเจริญเติบโตมากกว่าปลานิลแปลงเพศในกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส จึงเริ่มมีพฤติกรรมก้าวร้าว และขับไล่ปลานิลตัวที่อ่อนแอกว่า จึงเกิดการตายมากกว่า และมีอัตราการลดลง แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติจากชุดการทดลองอื่น ๆ

## 1.2 ปริมาณฟอสฟอรัส และแคลเซียมในชีรุ่ม

จากภาพที่ 4 และภาพที่ 5 จะเห็นว่าปริมาณฟอสฟอรัสในชีรุ่ม และปริมาณแคลเซียมในชีรุ่มของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส แต่เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโต จะเห็นว่าปลานิลแปลงเพศในกลุ่มดังกล่าวมีการเจริญเติบโตสูงกว่าปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส เนื่องจากฟอสฟอรัส และ แคลเซียม เป็นแร่ธาตุหลัก (macromineral) ที่ร่างกายต้องการในปริมาณมาก และจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของปลา (วีรพงศ์, 2535) ทำให้ฟอสฟอรัส และแคลเซียมที่ปลดปล่อยออกมาจากโมเลกุลของไฟเตส และถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย จะถูกดึงไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตของร่างกาย ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในชีรุ่ม และปริมาณแคลเซียมในชีรุ่มของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส

## 1.3 ปริมาณเหล็กในชีรุ่ม ปริมาณสังกะสีในชีรุ่ม สิวาโดคริต และอีโมโกลบิน

ปริมาณเหล็กในชีรุ่ม และปริมาณสังกะสีในชีรุ่มของปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1

กิโลกรัม ในวันที่ 60 ของการทดลองมีค่าลดลง ดังภาพที่ 5 และ ภาพที่ 6 เนื่องจากปลานิลแปลงเพศในสองกลุ่มนี้มีการเจริญเติบโตเร็วกว่าปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส ปริมาณหลักในซีรัม และปริมาณสังกะสีในซีรัมของปลานิลแปลงเพศกลุ่มดังกล่าวจึงถูกนำไปใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม และการสร้างเม็ดเลือดแดงให้เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ซึ่งจะสังเกตได้จากปริมาณหลัก และปริมาณสังกะสีในซีรัมลดลง แต่ค่าฮีมาโตคริต และฮีโมโกลบินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวันที่ 60 ของการทดลอง (ภาพที่ 8 และภาพที่ 9)

#### 1.4 ปริมาณฟอสฟอรัสในกระดูก และเถ้ากระดูก

ปริมาณฟอสฟอรัสในกระดูก และเถ้ากระดูกของปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ ไฟเตสที่ระดับ 750 และ 1000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตสไม่แตกต่างกัน ซึ่งแตกต่างจากการทดลองของ วุฒิพร และคณะ (2547) ที่พบความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสในกระดูก และปริมาณฟอสฟอรัสในเถ้ากระดูกในปลานิลแปลงเพศน้ำหนักเฉลี่ย 3.5 กรัม แต่ไม่พบความแตกต่างของ น้ำหนักตัวเฉลี่ย และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเมื่อเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหาร ที่ระดับ 500 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัมเป็นเวลา 60 วัน จะเห็นได้ว่าการเจริญเติบโตของปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ที่มากกว่ากลุ่มควบคุมนั้น ทำให้ฟอสฟอรัสในซีรัม และแคลเซียมในซีรัมถูกนำไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตของร่างกาย จึงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในกระดูก และเถ้ากระดูก ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ประกอบกับการเจริญเติบโตของร่างกายปลาจำเป็นต้องมีการขยายขนาดของกระดูกด้วยทำให้มีการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อกระดูกเพื่อรองรับการสะสมของฟอสฟอรัส และแคลเซียม ทำให้สัดส่วนของฟอสฟอรัสในกระดูก และเถ้ากระดูกลดลง

## 2. จากผลของการเสริมเอนไซม์ไฟเตส ต่อคุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศ

### 2.1 การเจริญเติบโต

การเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ในอาหารปลานิลแปลงเพศน้ำหนักเฉลี่ย 96.7 กรัม มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และเพียงพอที่จะทำให้ การ

เจริญเติบโตต่อวัน น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และน้ำหนักตัวเฉลี่ย แตกต่างจากปลานิลแปลงเพศในกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งแตกต่างจากการทดลองของ วุฒิพร และคณะ (2547) ที่ไม่พบความแตกต่างดังกล่าวในปลานิลแปลงเพศขนาด 3.45 กรัม แสดงว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ในอาหารปลานิลแปลงเพศน้ำหนักเฉลี่ย 96.7 กรัม มีการปลดปล่อยฟอสฟอรัส และแร่ธาตุอื่น ๆ ในโมเลกุลของไฟเตสออกมาอย่างเพียงพอ และเหมาะสมต่อความต้องการของปลานิลแปลงเพศ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณการเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหาร ถึงแม้ว่าจะมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัส และแร่ธาตุอื่น ๆ ในโมเลกุลของไฟเตสออกมาเพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณมากเกินไปความต้องการของปลานิลแปลงเพศ จึงไม่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกาย จึงทำให้ปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัมมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจาก ปลานิลแปลงเพศกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

## 2.2 ฟอสฟอรัสรวมในน้ำ และปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำ

ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำ และปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำ ตลอดระยะเวลาการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ถึงแม้ว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารปลาจะมีบทบาทในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ฟอสฟอรัสในโมเลกุลไฟเตส ทำให้สามารถลดการขับฟอสฟอรัสของปลาลงสู่ น้ำที่เลี้ยง แต่การที่ฟอสฟอรัสมีกุณสมบัติเฉพาะที่สามารถละลายอยู่ในน้ำได้ในระดับต่ำตลอด และสามารถตกตะกอนกับแคลเซียม ตกตะกอนกับอลูมิเนียม และตกตะกอนกับเหล็กได้ (ยงค์, 2539) จึงทำให้ไม่พบความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำ และปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำในทุกชุดการทดลอง

## 2.3 แอมโมเนียรวมในน้ำ และไนไตรท์ในน้ำ

ปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำ และไนไตรท์ในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศแต่ละชุด การทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง 4 สัปดาห์ไม่มีความแตกต่างกัน เพราะในโมเลกุลไฟเตสไม่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ ยกเว้นกรณีที่ โมเลกุลไฟเตสจับอยู่กับโมเลกุลของโปรตีน ซึ่งพบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการเสริมเอนไซม์ไฟเตส เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยของโมเลกุลไฟเตส จึงไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการขับแอมโมเนียของปลา

ในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง ปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำ ในทุกชุดการทดลองสูงขึ้นมาก เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดระยะเวลาการทดลอง ปริมาณแอมโมเนียที่สูงขึ้นนั้นจึงมาจากการขับถ่ายของปลาโดยถูกขับออกมากับปัสสาวะ และในส่วนของมูลที่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ และออกซิไดซ์ไนไตรท์ให้เป็นไนเตรท ตามลำดับ แต่พบว่าปริมาณไนไตรท์ลดลง แต่มีการสะสมของแอมโมเนียมากขึ้น แสดงว่ากระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์มีน้อยจึงทำให้เกิดการสะสมแอมโมเนียในน้ำ ในขณะที่กระบวนการออกซิไดซ์ไนไตรท์ให้เป็นไนเตรทมีการเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

## 2.4 ค่าบีโอดี

การเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สามารถลดค่าบีโอดีในน้ำที่เลี้ยงได้ตั้งแต่สัปดาห์แรกของการเลี้ยง แต่การเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สามารถลดค่าบีโอดีได้ในสัปดาห์ที่ 4 ของการเลี้ยง จะเห็นว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารปลาสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงปลา โดยอาศัยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างโมเลกุลของไฟเตท กับเอนไซม์ไฟเตสทำให้ปลาสามารถใช้ประโยชน์จากไฟเตทได้ทั้งโมเลกุล และขับมูลที่มีปริมาณสารอินทรีย์ลดลง ส่งผลต่อค่าบีโอดีในน้ำลดลง เนื่องจากความต้องการออกซิเจนในน้ำในการย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง

## 2.5 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำ

น้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศทุกชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง 4 สัปดาห์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ น้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้โดยวิธี Spectrophotometric method เนื่องจากทำการทดลองในอาคาร จึงมีปริมาณแสงไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช ดังนั้นปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศในทุกชุดการทดลอง ไม่ได้สูญเสียไปจากการนำไปใช้โดยแพลงก์ตอนพืช

จากผลการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 จะเห็นว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารปลานิลแปลงเพศ ที่มีปลาปนในสูตรอาหาร 5% โดยใช้กากถั่วเหลืองทดแทนปลาปนในสูตรอาหาร มีบทบาทในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหาร โดยการเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ

750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ในปลานิลแปลงเพศขนาด 96.7 กรัม เพียงพอต่อการเจริญเติบโต และมีการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน 1.75 กรัม/ตัว/วัน ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองของ พรชัย (2523) ซึ่งทำการทดลองเลี้ยงปลานิลขนาด 94.41 กรัม ด้วยอาหารสูตรปกติที่มีปลาป่นในสูตรอาหาร 18% และมีโปรตีนในอาหาร 25% มีการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน 1.53 กรัม/ตัว/วัน และการเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ในปลานิลแปลงเพศขนาด 29.92 กรัม เพียงพอต่อการเจริญเติบโต และมีการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน 1.64 กรัม/ตัว/วัน ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองของ พรชัย (2523) ซึ่งทำการทดลองเลี้ยงปลานิลขนาด 24.50 กรัม ด้วยอาหารสูตรปกติที่มีปลาป่นในสูตรอาหาร 18% และมีโปรตีนในอาหาร 25% มีการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน 1.55 กรัม/ตัว/วัน จะเห็นว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารปลานิลแปลงเพศสามารถลดการใช้ปลาป่นเหลือเพียง 5% และใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งของโปรตีนแทนในสูตรอาหารได้ โดยที่ปลานิลแปลงเพศยังมีการเจริญเติบโตเป็นปกติ เมื่อเทียบกับการเลี้ยงปลานิลแปลงเพศด้วยอาหารสูตรปกติ

## สรุป

1. การเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม เป็นเวลา 60 วัน เพียงพอต่อการเจริญเติบโตเป็นปกติ ของปลานิลแปลงเพศน้ำหนักเฉลี่ย 96.70 กรัม โดยมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราแลกเนื้อ แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ )

2. การเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม เป็นเวลา 30 วัน เพียงพอต่อการเจริญเติบโตเป็นปกติ ของปลานิลแปลงเพศน้ำหนักเฉลี่ย 29.92 กรัม โดยมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันมากกว่า และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ น้อยกว่า ปลานิลแปลงเพศในกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และปลานิลแปลงเพศในกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ )

3. ปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัม ปริมาณแคลเซียมในซีรัม ค่าฮีมาโตคริต และค่าฮีโมโกลบิน ของปลานิลแปลงเพศในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p>0.05$ )

4. ปลานิลแปลงเพศในกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัมเป็นเวลา 30 วัน พบว่ามีปริมาณเหล็กในซีรัมมากกว่าปลานิลแปลงเพศในกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 60 วัน ปริมาณเหล็กในซีรัมไม่มีความแตกต่างกันทุกชุดการทดลอง

5. การเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม เป็นเวลา 60 วัน ใน ปลานิลแปลงเพศน้ำหนักเฉลี่ย 96.70 กรัม ทำให้ปริมาณสังกะสีในซีรัมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ )

6. การเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 และ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ในปลานิลแปลงเพศขนาดเฉลี่ย 96.7 กรัม ไม่มีผลทำให้ฟอสฟอรัสในกระดูกและ เอ้ากระดูก แตกต่างจากปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส

7. การเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัมในอาหารปลานิลแปลงเพศน้ำหนักเฉลี่ย 29.92 กรัม เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ไม่มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสรวม และออร์โธฟอสเฟตในน้ำที่ใช้เลี้ยง

8. การเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดีในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศ ตั้งแต่สัปดาห์แรกของการเลี้ยง แต่การเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สามารถลดค่าบีโอดีในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศได้ในสัปดาห์ที่ 4 ของการเลี้ยง โดยการเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และการเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัมเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ สามารถลดค่าบีโอดีในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศได้ 0.99 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1.78 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2542. กำลังผลิตเบื้องต้นของแหล่งน้ำ. คณะประมง  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จิรพร จิตจำรูญโชคไชย. 2536. ไฟเตท สารลดการดูดซึมแร่ธาตุในร่างกาย. หมอชาวบ้าน  
15(173):76-77

จิตรกร จันทะรัง. 2545. ผลของการเสริมเอนไซม์ไฟเตส ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ระดับของ  
แคลเซียมและฟอสฟอรัสในปลาสมุท และลักษณะของกระดูกที่เปราะในเปิดพันธุ์บารี่.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มานพ จารุรัตน์จามร. 2523. การศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยวิธีแยกเพศ.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มานพ ตั้งตรงไพโรจน์, ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล, บรรศรี จริโมภาส, สุจินต์ หนูขวัญ, กำชัย ลาวัณยวุฒิ,  
วีระ วัชรกรโยธิน และวิมล จันทโรทัย. 2536. การพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลานิล. เอกสาร  
เผยแพร่ฉบับที่ 23 สถาบันวิจัยประมงน้ำจืด กรมประมง.

ยนต์ มุสิก. 2539. คุณภาพน้ำกับกำลังผลิตของบ่อปลา. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทรงศักดิ์ ศรีอนุชาติ. 2532. ไฟเตทและแหล่งอาหาร, น. 321-337. ใน ศาคร ธนมิตร, การประชุม  
วิชาการโภชนาการ 13-15 ธันวาคม 2532. สำนักพิมพ์สื่ออักษร, กรุงเทพฯ.

นทีทิพย์ กฤษณามระ. 2538. ฮอโมน : กลไกและการออกฤทธิ์ร่วม. โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช,  
กรุงเทพฯ.



นิธิยา รัตนานนท์ และวิบูลย์ รัตนานนท์. 2529 . โภชนศาสตร์เบื้องต้น. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

วุฒิพร พรหมขุนทอง, มนต์สรวง ยางทอง, กิจการ สุภมาตย์ และคุณิต นาอะชาต. 2547. ผลของ เอนไซม์ไฟเตสและอนินทรีย์ฟอสเฟตต่อการใช้ฟอสฟอรัสในปลานิลแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus* Linn.). ว. สงขลานครินทร์ วทท. 26(2):181-195

วิมล จันทรโรทัย. 2536. อาหารสัตว์น้ำ : ความก้าวหน้าของการศึกษาความต้องการสารอาหารของ ปลาและกุ้ง, น. 99-106. ใน 50 ปีคณะประมง. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2535. อาหารปลา. ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.

เวียง เชื้อโพธิ์หัก. 2543. โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์น้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุชน ตั้งทวีวัฒน์ และ บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2541. บทบาทของเอนไซม์ไฟเตสในอาหารสัตว์ ปีก. สารานุกรม 47(4):42-48.

สิริ ทุกข์วินาศ. 2528. วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำและวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติบางประการของน้ำทางเคมี และฟิสิกส์เพื่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง. กรุงเทพฯ

สร้อย โชติแจ่มสกุลชัย. 2546. การคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์ไฟเตส การผลิตเอนไซม์และการศึกษาสมบัติของเอนไซม์บริสุทธิ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

A.O.A.C. 1990. **Office Methods of the Association of Official Analytical Chemists**. 15<sup>th</sup> ed., Association of Official Analytical Chemists, USA.

- APHA-AWWA-AWCF. 1980. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 15<sup>th</sup> ed., American Public Health Association, Washington, D.C.
- Denise, B. and J. Patience. 2005. Phytase improves P bioavailability in swine diets.  
Available Source;<http://prairieswine.usask.ca/2005/april/phytase.htm>, November 3, 2005.
- Grasshoff, K. 1974. **Method for Seawater Analysis**. Verlag Chemie, New York.
- Jauncey, K.J. and B. Ross. 1982. **A Guide to Tilapia Feeds and Feeding**. University of Stirling, Scotland.
- Johnston, S.L. and L.L. Southern. 2000. The effect of varying mix uniformity (simulated) of phytase on growth performance, mineral retention, and bone mineralization in chicks **Poult. Sci.**79:1485-1490.
- Kigel, J. and G. Gad. 1995. **Seed Development and Germination**. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Liebert, F. and L. Portz. 2005. Nutrient utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed plant based low phosphorus diets supplemented with graded levels of different sources of microbial phytase. **Aquaculture** 248:111-119.
- Liu, B.L., A. Rafiq, Y.M. Tzeng and A. Rob. 1998. The induction and characterization of phytase and beyond. **Enzyme Microb. Technol.** 22:415-424.
- Lloyd, L.E., B.E. McDonald and E.E. Crampton. 1978. **Fundamental of Nutrition**. Freeman, San Francisco.

McDowell, L.R. 1992. **Mineral in Animals and Human Nutrition**. Academic Press, Inc., SanDiego, California.

NRC. 1993. **Nutrient Requirements of Fish**. National Academic Press, Washington, D.C.

Stickland, J.P. and T.R. Parsons. 1977. **A Practical Handbook of Seawater Analysis**. 2<sup>nd</sup> ed, Ottawa.

Sugiura, S.H., J. Gabaudan, F.M. Dong and R.W. Hardy. 2001. Dietary microbial phytase supplementation and the utilization of phosphorus, trace minerals and protein by rainbow trout [*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)] fed soybean meal-based diets. **Aquac. Res.** 32:583-592.

### ภาคผนวก

## วิธีการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในกระดูก

ขั้นตอนการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในกระดูก คัดแปลงจาก AOAC (1990)

1. เลาะเนื้อปลาออกให้หมด ตัดหัว และครีบหางออก เก็บกระดูกสันหลัง (vertebrae)
2. นำกระดูกสันหลังที่ได้ไปอบไล่ความชื้นจนแห้ง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. บดกระดูกจนละเอียด โดยแยกกระดูกของปลาแต่ละตัวเอาไว้
4. ชั่งกระดูกที่ได้ 1 กรัม ใส่ในถ้วยเผาเถ้า
5. เผาให้หมดควันในตู้ดูดควัน แล้วนำไปเผาเถ้าที่อุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จนได้เถ้าสี เทา-ขาว ทิ้งไว้ให้เย็น
6. เติมกรดไฮโดรคลอริก 50% ด้วยละ 10 มิลลิลิตร หยด กรดไนตริก 2-3 หยด นำไปต้มบนแผ่นให้ความร้อนในตู้ดูดควันจนเถ้าละลาย ใช้เวลา 10-20 นาที ถ้ากรดแห้งก่อนเถ้าละลายเติมกรดได้อีก 10 มิลลิลิตร เมื่อเถ้าละลายหมดตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
7. ปรับปริมาตรสารละลายในข้อ 6 ด้วยน้ำกลั่นโดยใช้ volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร ล้างถ้วยเผาโดยใช้น้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน หรือทิ้งไว้ข้ามคืน (คัดแปลงจาก AOAC, 1990)
8. นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma atomic emission spectrometer

## วิธีการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในซีรัม คัดแปลงจาก จิตรกร (2545)

ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างในซีรัม

1. เจาะเลือดจากเส้นเลือดดำบริเวณ โคนครีบกางของปลานิล ปริมาณตัวละ 3 มิลลิลิตร ด้วย Monovette
  2. นำเลือดที่เจาะได้เก็บไว้ในตู้เย็นข้ามคืนเพื่อให้เม็ดเลือดตกตะกอน
  3. เก็บซีรัม ซึ่งมีลักษณะสีเหลืองใสบริเวณส่วนบน ระวังไม่ให้เม็ดเลือดติดมากับซีรัม
- เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในขั้นตอนต่อไป

## อุปกรณ์

1. เตาหย่อยโปรตีน
2. หลอดหย่อยโปรตีน
3. volumetric flash ขนาด 50 และ 100 มิลลิลิตร
4. กรวยกรอง
5. cylinder 100 มิลลิลิตร
6. เครื่อง Inductively coupled plasma atomic emission spectrometer

## สารเคมีและขั้นตอนการเตรียม

1. สารละลายแอซิดมิกซ์เจอร์ (acid mixture) มีส่วนผสมของกรด 3 ชนิด ตามอัตราส่วน 5:1:2 (โดยปริมาตร) ดังนี้

กรดไนตริกเข้มข้น ( $\text{HNO}_3$ ) 70 เปอร์เซ็นต์ 5 ส่วน

กรดซัลฟูริกเข้มข้น ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 98 เปอร์เซ็นต์ 1 ส่วน

กรดเปอร์คลอริกเข้มข้น ( $\text{HClO}_4$ ) 70-72 เปอร์เซ็นต์ 2 ส่วน

## ขั้นตอนการย่อยชีรุ่ม

นำชีรุ่มปริมาตร 1.5 มิลลิลิตรใส่ลงในหลอดหย่อยโปรตีนร่วมกับ สารละลายแอซิดมิกซ์เจอร์ ลงไป 5 มิลลิลิตร นำไปย่อยบนเตาหย่อยโดยใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสจนกระทั่งได้สารละลายลักษณะใส

## การปรับปริมาตรหลังการย่อย

นำสารละลายที่ได้จากการย่อยมาปรับปริมาตร 20 มิลลิลิตร โดยใช้ น้ำกลั่นชะล้างสารละลายและตะกอนในหลอดหย่อยออกมาให้หมด ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น นำไปวิเคราะห์ฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma atomic emission spectrometer

**ตารางผนวกที่ 1** ปริมาณไฟเตทในวัตถุดิบ และปริมาณไฟเตทในสูตรอาหารทดลอง

| วัตถุดิบ      | Phytate P    |                | Phytate P                   |                               |
|---------------|--------------|----------------|-----------------------------|-------------------------------|
|               | (%วัตถุแห้ง) | (%ฟอสฟอรัสรวม) | ในสูตรอาหาร<br>(%วัตถุแห้ง) | ในสูตรอาหาร<br>(%ฟอสฟอรัสรวม) |
| กากถั่วเหลือง | 0.39         | 60             | 0.19                        | 29.4                          |
| ปลายข้าว      | 0.09         | 51             | 0.02                        | 10.71                         |
| รำข้าว        | 1.31         | 80             | 0.25                        | 15.2                          |
| รวม           |              |                | 0.46                        | 55.31                         |

หมายเหตุ Phytate P คือ ไฟเตทฟอสฟอรัส

