บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. การทดลองที่ 1

ผลของการเสริมเอนไซม์ไฟเตสลงในอาหารมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยสารอาหาร คือโปรตีน และฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยที่ทำการเสริมเอนไซม์ไฟเตสลงในอาหารสำหรับปลานิลที่พบว่าสามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การย่อยสารอาหารจากวัตถุดิบพืชให้มากขึ้น (Phromkunthong and Gabaudan, 2006; Liebert and Portz, 2005; Portz and Liebert, 2004 and Furuya *et al*., 2001) ซึ่ง Phromkunthong และ Gabaudan (2006) พบว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับตั้งแต่ 1,000 U/ อาหาร 1 กิโลกรัมขึ้นไป สามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีน และฟอสฟอรัสของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีส่วนประกอบทั้งเป็นวัตถุดิบจากพืชได้ เช่นเดียวกับ การศึกษาของ Portz และ Liebert (2004) ที่พบว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสลงในอาหารสำหรับปลานิล *(O. niloticus*) ที่มีวัตถุดิบจากพืชเป็นส่วนประกอบหลัก มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีน และฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารสูตรเดียวกันที่ไม่เสริมเอนไซม์ไฟเตส และการเสริมเอนไซม์ไฟเตสยังทำให้การเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนดีขึ้น Liebert และ Portz (2005) รายงานว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 FTU/ อาหาร 1 กิโลกรัม ทำให้การใช้ประโยชน์จากโปรตีน และฟอสฟอรัส ของปลาที่ได้อาหารที่เป็นวัตถุดิบจากพืชทั้งหมดซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสรวมในอาหารประมาณ 0.41 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มสูงขึ้นเทียบได้กับการใช้ประโยชน์จากโปรตีน และฟอสฟอรัสของสูตรอาหารเดียวกันที่เสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตที่มีฟอสฟอรัสรวม 0.8 เปอร์เซ็นต์

ทั้งนี้เนื่องมาจากว่ากระบวนการทำงานของเอนไซม์ไฟเตสที่เสริมลงไปในอาหารจะไปทำหน้าที่ย่อยสลายพันธะ (โดยการไฮโดรไลส์) ของกรดไฟติก และไฟเตท ในทางเดินของปลาทำให้ให้มีปริมาณไฟเตทในทางเดินอาหารลดลงส่งผลให้เกิดประโยชน์หลายด้าน เช่น ลดการรวมตัวระหว่างกรดไฟติก กับกรดอะมิโน หรือไฟเตท กับโปรตีน หรือไฟเตทกับแร่ธาตุประจุบวกสอง ทำให้การใช้ประโยชน์จากกรดอะมิโน หรือโปรตีน และแร่ธาตุเหล่านั้นเพิ่มขึ้น (Rich *et al*., 2001; Dvorakova, 1998 อ้างโดย Debnath *et al*., 2005a) และมีผลทำให้เกิดการตัดพันธะของฟอสเฟตออกจากโครงสร้างโมเลกุลของกรดไฟติก และไฟเตททำให้การใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัส

และแร่ธาตุที่จับอยู่ในโครงสร้างของไฟเตทถูกนำออกมาใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น (Portz and Liebert, 2004; Francis *et al.,* 2001) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีนของวัตถุดิบบางตัวได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีนของกากถั่วเหลืองมีค่าใกล้เคียงกับ Hanley (2000), Sklan และคณะ(2004) Köprücü และ Özdemir (2005) และ Gonçalves และคณะ (2004) มีค่าประมาณ 87.4-96.2 เปอร์เซ็นต์ และค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสของกากถั่วเหลืองมีค่าใกล้เคียงกับ Köprücü และ Özdemir (2005) และมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาในปลาชนิดอื่นๆ ที่พบว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสทำให้การใช้ประโยชน์จากสารอาหารในวัตถุดิบอาหารที่เป็นพืชเพิ่มสูงขึ้น เช่นปลาไน (Hossain and Jauncey, 1991) ปลาแอนแลนติกแซลมอน ((Storebakken *et al*., 1998) ปลาเทร้า (Spinelli *et al*., 1983; (Cheng and Hardy, 2002) ปลาโคเรียนรอกฟิช *(sebastes schlegeli*) (Yoo *et al*., 2005)

การเสริมเอนไซม์ไฟเตสมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีนของวัตถุดิบจากพืช 3 ชนิด ในปลานิลแดงแปลงเพศเพิ่มสูงขึ้น (กากถั่วเหลือง รำละเอียด และมันสำปะหลัง) เช่นเดียวกับการศึกษาในปลาแซลมอน (Cain and Garling, 1995) ปลาเทร้า (Lanasi *et al*., 1998; Sugiura *et al*., 2001) ซึ่งกินอาหารที่มีกากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลัก โดยค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีนของวัตถุดิบจากพืชแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบของสารอาหาร และสารอื่นๆ ที่ประกอบอยู่ในวัตถุดิบชนิดนั้นๆ ได้แก่ สารต้านโภชนาการชนิดต่างๆ เยื่อใย และแป้ง (Hardy, 1996; Francis *et al.,* 2001; Vielma *et al*., 2002; Schneider *et al*., 2004) และตัวแปรอื่นๆ ของอาหารคือ ปริมาณ และชนิดของสับสเตรท (substrate)(กรดไฟติก หรือไฟเตท) แคลเซียม และกระบวนการผลิตวัตถุดิบ (ขนาดอนุภาค และความร้อน) ล้วนแต่มีผลต่อการเกิดการรวมตัวของกรดไฟติกกับสารอาหารอื่นๆ และส่งผลต่อกระบวนการไฮโดรไลส์กรด ไฟติก หรือไฟเตทที่เข้ารวมตัวกับสารอาหารอื่นๆ (Cheryan, 1980; Touehburu *et al*., 1998 อ้างโดย Vielma *et al*., 2004) ซึ่งผลของเอนไซม์ไฟเตสต่อการใช้ประโยชน์จากโปรตีนในระบบทางเดินอาหารยังไม่สามารถพิสูจน์ได้อย่างชัดเจนในส่วนของกระบวนการที่เกิดขึ้น (Touchburn *et al*., 1998 อ้างโดย Vielma *et al*., 2004) แต่จากการศึกษาในรายงานหลายเรื่องที่ผ่านมากล่าวว่า ผลของเอนไซม์ไฟเตสต่อค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีนจะขึ้นกับคุณภาพของวัตถุดิบ และค่าความเป็นกรดด่างของกระเพาะอาหาร และทางเดินอาหารของปลา ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการรวมตัวระหว่างกรดไฟติก หรือไฟเตทกับโปรตีน (Cheryan, 1980; Maemz, 2000 อ้างโดย Vielma *et al*., 2004) ซึ่งมีผลไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ย่อยโปรตีน และลดการใช้ประโยชน์จากโปรตีน รวมถึงกรดอะมิโนในอาหาร (Rich *et al*., 2001) รวมถึงกิจกรรมของเอนไซม์ไฟเตสซึ่งจะทำงานได้

ดีในช่วงความเป็นกรดด่างประมาณ 5 และ 8 แต่โดยทั่วไปเอนไซม์ไฟเตสจะทำงานได้ดีในช่วงที่มีความเป็นกรดด่างระหว่าง 4.5 ถึง 6.0 (Konietzny and Greiner, 2002) ซึ่งเอนไซม์ไฟเตสที่ใช้ในการทดลองนี้ (Ronozyme ® P) ผลิตมาจากเชื้อราชนิด *Aspergillus oryzae* ซึ่งมีค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการทำกิจกรรมอยู่ที่ 5.5 (Shimizu, 1993 อ้างโดย Konietzny and Greiner, 2002) โดยพบว่าความเป็นกรดด่างของกระเพาะอาหารปลานิล *O. niloticus* อยู่ในช่วงความเป็นกรด1.0-2.0 และ ลำไส้มีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ที่ 8.5-8.8 (Getachew, 1989; Rich *et al*., 2001)

ปริมาณของเยื่อใยในอาหารมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีนในปลานิล ดังรายงานของ Maina และคณะ (2002) พบว่าถ้าใช้กากเมล็ดทานตะวัน (sunflower cake) ที่มีปริมาณเยื่อใยลดลงจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีนของอาหารสูงขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Schneider และคณะ (2004) พบว่ากากถั่วเหลือง และแหนเป็ดมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีนต่ำกว่าหวีดกลูเต้น และกากถั่วเหลืองสกัด เนื่องมาจากมีปริมาณเยื่อใย และสารต้านโภชนาการอื่นๆ น้อยกว่า ซึ่งรายงานว่ารำข้าวเป็นวัตถุดิบจากพืชที่มีปริมาณเยื่อใยสูงสุดมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีนต่ำสุด

Liner (1994) กล่าวว่าการรวมตัวของโปรตีนกับไฟเตทจะขัดขวางการทำงานของเอนไซม์เปปซิน (pepsin) หรือทริปซิน (trypsin) และอัลฟาอะไมเลส (alphaamylase) ทำให้ประสิทธิภาพในการนำโปรตีนจากวัตถุดิบอาหารไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง อีกทั้งไฟเตทและไฟตินที่มีอยู่ในวัตถุดิบจากพืชสามารถที่จะรวมตัวกับโปรตีนกลายเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อน ซึ่งมีผลทำให้การทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยโปรตีนทำงานได้ยากขึ้น เป็นผลให้การใช้ประโยชน์จากโปรตีนในอาหารลดลงด้วย (Sugiura *et al*., 2001) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Rich และคณะ (2001) พบว่าปริมาณของไฟเตทในอาหารมีผลในการลดประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากกรดอะมิโนภายในทางเดินอาหารของปลานิล *(O. niloticus*) ได้ NRC (1993) รายงานว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำมากๆ หรืออาหารที่มีไฟเตทจะทำให้การใช้ประโยชน์จากแร่ธาตุ และสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีนต่ำลง ผลการเสริมเอนไซม์ไฟเตสลงในอาหารทดสอบมีผลช่วยให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและแร่ธาตุในวัตถุดิบพืชสูงขึ้นเนื่องจากเอนไซม์ไฟเตสมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายพันธะของไฟเตททำให้โครงสร้างของไฟเตทเปลี่ยนแปลง และปลดปล่อยฟอสฟอรัส กับแร่ธาตุอื่นๆที่เป็นส่วนประกอบของไฟเตทออกมา เช่น สังกะสี แคลเซียม และเหล็ก เป็นต้น รวมถึงช่วยลดการรวมตัวระหว่างไฟเตทกับโปรตีน หรือไฟติกกับโปรตีน ทำให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องทำงานได้เป็นปกติ และโปรตีนในอาหารถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้สูง

สุด จากผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีนของวัตถุดิบจากพืชมีค่าที่แตกต่างกันมาก เป็นเพราะว่าวัตถุดิบที่ใช้มีคุณค่า และส่วนประกอบทางโภชนาการต่างกัน แยกเป็นวัตถุดิบโปรตีน ได้แก่ กากถั่วเหลือง วัตถุดิบพลังงาน เช่น กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน รำละเอียด ข้าวโพด และมันสำปะหลัง โดยพบว่ากากถั่วเหลือง มีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีนสูงสุด และพบว่าข้าวโพด และมันสำปะหลัง มีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยสูงกว่ากากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน และรำละเอียด เมื่อพิจารณาปริมาณของเยื่อใย และไฟเตทของข้าวโพด และมันสำปะหลัง พบว่ามีปริมาณเยื่อใยและ ไฟเตท ต่ำกว่ากากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน และรำละเอียด แสดงให้เห็นว่าปริมาณเยื่อใย และไฟเตทในวัตถุดิบที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีนของวัตถุดิบจากพืชที่เป็นวัตถุดิบพลังงานทำให้มีค่าต่ำลง

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสของวัตถุดิบพืช ทั้ง 5 ชนิด มีความแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบพืช โดยพบว่ามันสำปะหลังมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือกากถั่วเหลือง รำละเอียด ข้าวโพด และกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ค่าดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสจากวัตถุดิบพืชที่มีการทดลองในปลานิลชนิดอื่น เช่น กากถั่วเหลืองมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส 30.1 เปอร์เซ็นต์ (Köprücü and Özdemir, 2005) ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสมีความแตกต่างกันในแต่ละวัตถุดิบซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำเนื่องมาจากฟอสฟอรัสส่วนใหญ่อยู่ในรูปของกรดไฟติก และไฟเตท ที่ปลาไม่สามารถนำไปใช้ได้ และกรดไฟติกและไฟเตทมีคุณสมบัติเป็นคีเลต (chelate) ที่สามารถรวมตัวกับแร่ธาตุอื่นๆ ที่มีประจุ 2 บวก (divalent ions) และประจุ 3 บวก (trivalent ions) ทำให้ได้เป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ ส่งผลให้ไม่ถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ (Sandberg *et al*., 1993 อ้างโดย Debnath *et al*., 2005a) และยังมีผลเนื่องจากปัจจัยอื่นๆ เช่น องค์ประกอบของสารต้านโภชนาการ (Francis *et al*., 2001) ช่วงระยะเวลาของการเคลื่อนตัวของอาหารภายในทางเดินอาหาร ที่มีความแตกต่างอันเป็นผลมาจากปริมาณของเยื่อใย และน้ำตาล (Storebakken *et al*., 1999) ซึ่งระยะเวลาที่ต่างกันมีผลทำให้ปริมาณการดูดซึมฟอสฟอรัสในทางเดินอาหารได้แตกต่างกัน (Bural *et al*., 2000) เป็นต้น การเสริมเอนไซม์ไฟเตสมีผลโดยตรงทำให้สัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสในวัตถุดิบพืชทั้ง 5 ชนิดในปลานิลแดงแปลงเพศเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Liebert และ Portz (2005) Portz และ Liebert (2004) Furuya และคณะ (2001) ซึ่งทำการทดลองในปลานิลสายพันธุ์ *O. niloticus* พบว่าเอนไซม์ไฟเตสสามารถทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสในวัตถุดิบพืช หรือในอาหารที่มีส่วนประกอบเป็นวัตถุดิบพืชเพิ่มขึ้นจริง และยังสอดคล้องกับผลการศึกษาในปลาชนิดอื่นๆ เช่นปลากลุ่มแซลโมนิดส์ (salmonids) (Sajjadi and Carter, 2004) ปลา

เรนโบว์เทร้าพบว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสลงในอาหารทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสและแร่ธาตุอื่นๆ ในวัตถุดิบพืช ได้แก่ บาร์เลย (barley) คาโนล่า ข้าวสาลี และรำข้าวสาลี (wheat middling) (Cheng and Hardy, 2002) Rich และBrown (1996) รายงานว่าปลา เรนโบว์เทร้าที่ได้รับการเสริมเอนไซม์ไฟเตสลงในอาหารที่มีแหล่งวัตถุดิบจากพืช ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น 46.2-76.8 เปอร์เซ็นต์ ในปลากดอเมริกัน พบว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสลงในอาหารสำเร็จรูปที่มีวัตถุดิบจากพืชเป็นส่วนประกอบทำให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น (Jackson *et al*., 1996) Sugiura และคณะ (1998) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การย่อยของแร่ธาตุหลายชนิด ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง แมงกานีส และสังกะสี ในปลาแซลมอนที่ได้รับการเสริมเอนไซม์ไฟเตสลงในอาหารที่มีวัตถุดิบจากพืชเป็นส่วนประกอบหลักมีค่าสูงขึ้น เช่นเดียวกับ Cheng และ Hardy (2000) ที่ทำการศึกษาในปลา เรนโบว์เทร้า Sugiura และคณะ (2001)ทำการศึกษาในปลาเรนโบว์เทร้า พบว่าอาหารที่มี กากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลักเมื่อเสริมเอนไซม์ไฟเตสแล้วทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส โปรตีน เถ้า แคลเซียม แมงกานีส ทองแดง เหล็ก สตรอมเซียม สังกะสี เพิ่มสูงขึ้น ในสูตรอาหารที่มีเถ้าในปริมาณมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าเอนไซม์ไฟเตสทำให้เกิดการปลดปล่อยฟอสเฟตออกจากโมเลกุลของไฟเตทในกระบวนการย่อยอาหารของปลา (Yan *et al*., 2002 อ้างโดย Debnath *et al*., 2005a) ส่งผลให้การใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในวัตถุดิบจากพืชที่เป็นไฟเตทเพิ่มสูงขึ้น และเอนไซม์ไฟเตสอาจจะมีบทบาททำให้กระบวนการรวมตัวกันระหว่างกรดไฟติกกับแร่ธาตุลดลง เป็นผลให้แร่ธาตุในอาหาร และวัตถุดิบถูกใช้ประโยชน์ได้เพิ่มมากขึ้น (Debnath *et al*., 2005b) ถึงแม้ว่าการเกิดการรวมตัวกันจะทำให้การใช้ประโยชน์จากแร่ธาตุลดลง แต่จากผลการศึกษาของ Debnath และคณะ (2005b) พบว่าถ้าเพิ่มปริมาณของแร่ธาตุบางตัว เช่น แคลเซียม และแมกนีเซียม จะสามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์จากแร่ธาตุ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม สังกะสี เหล็ก และทองแดงได้

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยพลังงาน จากการทดลองครั้งนี้ไม่พบว่าเอนไซม์ไฟเตสมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยพลังงานในทุกวัตถุดิบพืชทั้ง 5 ชนิด ซึ่งก็มีรายงานวิจัยถึงการเสริมเอนไซม์ไฟเตสลงในอาหารแล้วไม่มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยพลังงานเพิ่มขึ้น (Lanari *et al*., 1998; Sajjadi and Carter, 2004) Chang และ Hardy (2002) รายงานว่าชนิดของวัตถุดิบมีอิทธิพลต่อปริมาณชีวภาพพร้อมใช้ (bioavailability) ของวัตถุดิบชนิดนั้น และเสนอแนะว่าผลของการเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การย่อย และการใช้ประโยชน์จากพลังงานนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ขนาดของปลา ความเข้มข้นของเอนไซม์ไฟเตสที่เสริม Gonçalves และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ไฟเตสลงในอาหารของปลานิล *(O.*

niloticus) ขนาด 100 กรัม และใช้อาหารสูตรอ้างอิงที่ประกอบด้วยอัลบูมิน (albumin) และเจลลาติน (gelatin) มีโปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้สัดส่วนของอาหารทดลอง 40 เปอร์เซ็นต์ ต่อวัตถุดิบทดสอบ 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใช้วัตถุดิบจากพืชทดลองทั้งที่เป็นแหล่งโปรตีน และคาร์โบไฮเดรต พบว่ารำจากข้าวสาลี ปลายข้าว กากถั่วเหลือง กากเมล็ดทานตะวัน กากเมล็ดฝ้าย ที่เสริมเอนไซม์ไฟเตสมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยพลังงานสูงขึ้น แต่ในข้าวโพดการเสริมเอนไซม์ ไฟเตสไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การย่อยพลังงาน ผู้วิจัยอธิบายว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสลงไปในอาหารที่มีส่วนประกอบเป็นวัตถุดิบจากพืชแล้วไม่พบว่ามีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยพลังงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากว่าสูตรอาหารนั้นมีปริมาณของพลังงานมากเกินความต้องการของปลานิลแล้ว จึงไม่มีผลทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการใช้ประโยชน์จากพลังงานในสูตรอาหารนั้น

ผลของเอนไซม์ไฟเตสต่อฮีมาโตคริต และฮีโมโกลบินในปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดสอบที่มีส่วนประกอบเป็นวัตถุดิบจากพืช ทั้ง 5 ชนิดมีค่าสูงขึ้น และมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของวัตถุดิบพืช กับการเสริมเอนไซม์ไฟเตส สอดคล้องกับงานวิจัยของวุฒิพร พรหมขุนทอง และคณะ (2548) Phromkunthong และ Gabaudan (2006) โดยพบว่าค่าฮีมาโตคริตและฮีโมโกลบินที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปลาปกติ และมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองของนิรุทธิ์ สุขเกษม (2544) และ M.V. do Carmo e Sa และคณะ(2004) ซึ่งปลากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสมีค่าฮีมาโตคริต และฮีโมโกลบินสูงขึ้นทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์ไฟเตสทำให้แร่ธาตุต่างๆ ถูกปลดปล่อย และเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น โดยเฉพาะเหล็ก เนื่องจากเหล็กจะเป็นส่วนสำคัญอย่างมากในการสร้างเม็ดเลือด และเกล็ดเลือด (Ensmiger *et al*., 1994; Veilma *et al*., 2002) Sugiura และคณะ (1999) พบว่าปริมาณของไฟเตทในอาหารจะมีผลต่อการใช้ประโยชน์ได้ของแร่ธาตุต่างๆ รวมถึงเหล็ก และSugiura และคณะ (2001) รายงานว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสลงในอาหารที่มีถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบหลัก ทำให้ แร่ธาตุ ประจุ 2 บวกต่างๆ เช่นเหล็ก สังกะสี ทองแดง แคลเซียม และแมกนีเซียม ถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

2. การทดลองที่ 2

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสลงในอาหารที่คำนวณปริมาณของฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ด้วยการนำข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสของวัตถุดิบจากการทดลองที่ 1 ให้มีพอเพียงกับความต้องการของปลานิลแดงแปลงเพศ (ประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์) ทำให้ปลานิลมีการเจริญเติบโต การใช้ประโยชน์จากอาหาร และฟอสฟอรัส การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสในกระดูก มีค่าเพิ่มสูงขึ้นใกล้เคียงกับอาหารที่มี

การเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต(ไดแคลเซียมฟอสเฟต) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในปลาชนิดอื่นๆ (Rpdehutscord and Pfeffer, 1995; Schafer *et al*., 1995; Papatryphon *et al*., 2001; Furuya *et al*., 2001; Portz *et al*., 2003; Phromkunthong *et al*., 2004; วุฒิพร พรหมขุนทอง และ อัจฉริยา มูสโกภาศ, 2548) และเอนไซม์ไฟเตสยังทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งจากอาหารน้อยกว่าการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในอาหาร โดยไม่แตกต่างกับสูตรอาหารที่เสริมเอนไซม์ไฟเตสและลดปริมาณอนินทรีย์ฟอสเฟต

ในแง่การเจริญเติบโตพบว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตส (สูตรที่ 3) หรืออนินทรีย์ฟอสเฟต (สูตรที่ 2) และการเสริมเอนไซม์ไฟเตสและลดอนินทรีย์ฟอสเฟต (สูตรที่ 4) มีน้ำหนักเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตของปลาไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างกับชุดควบคุมที่กำหนดให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ต่ำ (0.3 เปอร์เซ็นต์)ไม่เพียงพอกับความต้องการของปลานิลทดลอง ซึ่งต้องการฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 0.76 เปอร์เซ็นต์ (Phromkunthong and Udom, 2006) แสดงให้เห็นว่าไฟเตสมีผลทำให้ฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในวัตถุดิบพืชของสูตรอาหารได้แก่ กากถั่วเหลือง รำ และมันสำปะหลัง ถูกปลดปล่อยออกมาจนเพียงพอกับระดับความต้องการฟอสฟอรัสของปลานิลแดงแปลงเพศ ส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตเป็นปกติ และสูงกว่าชุดควบคุมที่มีฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ไม่เพียงพอกับความต้องการ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Rich และคณะ (2001) ที่พบว่าไฟเตทในสูตรอาหาร (กากถั่วเหลือง) จะจับอยู่กับกรดอะมิโนชนิดต่างๆ เอาไว้ และในกากถั่วเหลืองยังมีสารต้านโภชนาการอื่นๆ ส่งผลให้การใช้ประโยชน์จากกรดอะมิโนในถั่วเหลืองลดลง (Jackson *et al*., 1982) เป็นผลให้ปลามีการเจริญเติบโตไม่ดีเพราะไม่สามารถใช้ประโยชน์จากกรดอะมิโนในอาหารได้อย่างเต็มที่ (Cho and Watanabe, 1998) ซึ่งเอนไซม์ไฟเตสสามารถทำให้สารประกอบเชิงซ้อนของไฟเตทกับโปรตีนสลายไปทำให้กรดอะมิโนที่ถูกจับไว้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น (Debnath *et al*., 2005b) ซึ่งชีวภาพพร้อมใช้ของโปรตีน สามารถประมาณได้จากการเก็บสะสมโปรตีนในร่างกาย ที่เป็นผลมาจากการย่อยโปรตีน การสลายกรดอะมิโน และกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน (protein synthesis) ในปลาที่มีความสมดุลกับสารอาหารอื่นๆ และจะขึ้นอยู่กับกรดอะมิโนที่ได้รับจากอาหารเป็นส่วนใหญ่ (Fauconneau, 1985 อ้างโดย Rich *et al*., 2001) และในอีกแนวทางหนึ่งคือในสูตรอาหารที่มีกากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลักนั้นจะมีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตโดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรตที่เป็นเยื่อใยในปริมาณมาก และมีไฟเตทในปริมาณมากเช่นกัน ซึ่งทั้งสองอย่างนี้เมื่อมีอยู่ในอาหารปลามากเกินไปจะส่งผลทำให้การใช้ประโยชน์จากสารอาหารชนิดต่างๆต่ำลง (NRC, 1993; Rich and Bown, 1996; Francis *et al*., 2001) เอนไซม์ไฟเตสสามารถช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบ

พืชได้ เป็นผลให้ปลานิลในชุดการทดลองที่เสริมเอนไซม์ไฟเตสมีการเจริญเติบโตดีขึ้น สอดคล้องกับรายงานในปลานิล ของ Furuya และคณะ(2001) และ Portz และคณะ (2003) ในปลาโคเรียนรอกฟิช (Korean rockfish)(Yoo *et al*., 2005) ปลาสวาย (*Pangasius pangasius*) (Dipesh *et al*., 2005a) ปลาเรนโบว์เทร้า (Cheng *et al*., 2004) ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากในสูตรอาหารที่มีวัตถุดิบจากพืชในปริมาณที่มาก มีผลทำให้กรดอะมิโนในสูตรอาหารนั้นไม่สมดุล เมื่อเทียบกับสูตรอาหารที่ใช้ปลาป่นเป็นจำนวนมาก ซึ่งผลของการเสริมเอนไซม์ไฟเตสอาจทำให้เกิดความสมดุลของสารอาหาร และกรดอะมิโนในระหว่างการย่อยและดูดซึมอาหารจึงส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตดีขึ้นจากปกติ

จากผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในตัวปลา ฟอสฟอรัสในกระดูก และฟอสฟอรัสในซีรัม พบว่าอาหารที่เสริมเอนไซม์ไฟเตส (สูตรที่ 3) มีผลทำให้องค์ประกอบในตัวปลาใกล้เคียงกับอาหารที่เสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต และเสริมเอนไซม์ไฟเตสร่วมกับการลดอนิทรีย์ฟอสเฟต (สูตรที่4) โดยที่น้ำหนักแห้ง โปรตีน และไขมันในตัวปลาไม่แตกต่างกัน ส่วนปริมาณเถ้า ฟอสฟอรัสในตัวปลา และฟอสฟอรัสในกระดูกพบว่าปลาที่ได้อาหารที่เสริมอนินทรีย์ฟอเฟต (สูตรที่2) มีปริมาณสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตส (สูตรที่3) แต่ไม่แตกต่างกับปลาที่เสริมเอนไซม์ไฟเตสร่วมกับอนิทรีย์ฟอสเฟต (สูตรที่4) ทั้งนี้ปริมาณของเถ้า ฟอสฟอรัสในตัว และฟอสฟอรัสในกระดูกของปลาที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสมีค่ามากกว่าปลาซึ่งได้รับอาหารชุดควบคุม (สูตรที่1) ทั้งนี้เนื่องจากระดับของการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสสามารถแสดงออกมาได้หลายทาง เช่นปริมาณฟอสฟอรัสในตัว และปริมาณฟอสฟอรัสในกระดูกก็เป็นทางหนึ่งที่แสดงออกมาให้เห็นได้อย่างชัดเจนในระดับหนึ่ง (Coloso *et al*., 2003; Roy and Lall, 2003) Eya และ Lovell (1997b) รายงานว่าถ้าเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหารจะทำให้ค่ากิจกรรมเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสเพิ่มขึ้นในปลากดหลวง*(Ictalurus punctatus*) และการเพิ่มขึ้นของการใช้ประโยชน์จากสังกะสีในอาหารก็มีผลต่อการเพิ่มของกิจกรรมเอนไซม์อัลคาไลน์-ฟอสฟาเตสในปลานิล (Debnathet *et al*., 2005b)

ปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่เสริมเอนไซม์ไฟเตส และอนินทรีย์ฟอสเฟต (สูตรที่ 2, 3 และ 4) มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น โดยพบว่าอาหารทดลองที่เสริมเอนไซม์ไฟเตส(สูตรที่ 3) และเสริมเอนไซม์ไฟเตสและอนินทรีย์ฟอสเฟต (สูตรที่ 4) มีค่าสูงกว่าอาหารที่เสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตอย่างเดียว (สูตรที่ 2) ทั้งนี้จากการศึกษาของ วุฒิพร พรหมขุนทอง และ อัจฉริยา มูสโกภาศ(2548) พบว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสลงในอาหารที่มีวัตถุดิบจากพืชมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสและแร่ธาตุอื่นๆ ในปลานิลแดงแปลงเพศเพิ่มสูงขึ้น สอด

คล้องกับการศึกษาของ Liebert และ Portz (2005) Powers และ Soares 1998 ที่พบว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่มีส่วนประกอบหลักเป็นวัตถุดิบจากพืชเปรียบเทียบกับการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต (KH_2PO_4) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสของอาหารที่เสริมเอนไซม์ไฟเตสมีค่าสูงกว่าอาหารที่เสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต ซึ่งเป็นเพราะว่าเอนไซม์ไฟเตสสามารถลดปริมาณของไฟเตทในสูตรอาหารซึ่งมีวัตถุดิบพืชเป็นส่วนประกอบลงได้ และทำให้เกิดการปลดปล่อยฟอสเฟต รวมถึงแร่ธาตุอื่นๆออกมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น (Cheng and Hardy, 2002) จึงเป็นผลให้ฟอสฟอรัสที่เหลืออยู่ในมูลมีปริมาณลดลง เมื่อเทียบกับสูตรอาหารที่เสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต (สูตรที่ 2 และ4) ที่ฟอสฟอรัสที่อยู่ในส่วนของวัตถุดิบถูกใช้ได้เพียงเล็กน้อยทำให้มีฟอสฟอรัสในมูลมากกว่าสูตรอาหารที่เสริมเอนไซม์ไฟเตส (สูตรที่ 2)เป็นผลให้เมื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสออกมาแล้วมีค่าต่ำกว่าสูตรอาหารที่ฟอสฟอรัสในสูตรอาหารถูกใช้ประโยชน์ได้มากกว่า Bureau (2004) กล่าวว่าการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสของปลามีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณฟอสฟอรัสมากเกินความต้องการของปลา

Hua และ Bureau (2005) รายงานว่าชนิด และรูปแบบของฟอสฟอรัสในสูตรอาหารที่ประกอบไปด้วยวัตถุดิบชนิดต่างๆ เช่นปลาป่น กากถั่วเหลือง และอนินทรีย์ฟอสเฟต จะมีผลต่อการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในอาหาร เนื่องจากโครงสร้างของฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน เช่นในปลาป่นมีฟอสฟอรัสในรูปแบบของ ไฮดรอกซีอะพาไทท์ (hydroxyapatite; $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) ซึ่งปลาสามารถย่อยได้ดีพอสมควร (Lall, 1991) แต่ในวัตถุดิบพืชจะมีไฟเตท ซึ่งย่อยได้ยากกว่าฟอสฟอรัสในปลาป่น (Lall, 1991; Sugiuru *et al*., 2000) และอินทรีย์ฟอสเฟตอื่นๆที่จับอยู่กับโปรตีน ไขมัน และน้ำตาล ซึ่งฟอสฟอรัสรูปแบบเหล่านี้ถูกย่อยได้ดีมากโดยอาศัยเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส (Hua and Bureau, 2005) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การย่อยของ อนินทรีย์ฟอสเฟตส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการละลายของสารนั้น (Lall, 1991) และยังพบว่าถ้าหากในสูตรอาหารมีปริมาณของฟอสฟอรัสจากอนินทรีย์ฟอสเฟตมากยังมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสลดลงอีกด้วย (Vielma and Lall, 1998; Rodehutscord *et al*., 2000; Sugiura *et al*., 2000) เนื่องจากการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตจะทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในทางเดินอาหารของปลาในปริมาณมากในช่วงระยะเวลาหนึ่ง แต่กระบวนการดูดซึมฟอสฟอรัสในอาหารจะขึ้นอยู่กับระดับของฟอสฟอรัสในเลือด (Lall, 1991) แต่เมื่อระดับของฟอสฟอรัสในเลือดเพิ่มขึ้นจนอิ่มตัวแล้ว ย่อมทำให้กระบวนการดูดซึมนำไปใช้ลดลงจนส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสลดลงเนื่องจากมีฟอสฟอรัสบางส่วนไม่ถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ทัน (Sajjadi and Cater, 2004; Rodehutscord *et al*., 2000)

จากการคำนวณการสะสมฟอสฟอรัสในตัว และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตส (สูตรที่ 3) มีการเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายไม่แตกต่างกับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสร่วมกับอนินทรีย์ฟอสเฟต (สูตรที่ 4) แต่มีการเก็บสะสมฟอสฟอรัสในตัวมากกว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต (สูตรที่ 2) ซึ่งค่าที่ได้สอดคล้องกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง ผลของการเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตส และเสริมเอนไซม์ไฟเตสร่วมกับอนินทรีย์ฟอสเฟตทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งน้อยกว่าอาหารที่เสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต (สูตรที่ 2) และสูตรอาหารควบคุม (สูตรที่ 1) ซึ่งเป็นผลที่แสดงให้เห็นว่าเอนไซม์ไฟเตสสามารถช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในสูตรอาหารที่มีวัตถุดิบจากพืชเป็นส่วนประกอบได้สูงขึ้น และมีประสิทธิภาพกว่าการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว รวมถึงเพิ่มการใช้ประโยชน์จากแร่ธาตุชนิดต่างๆ และกรดอะมิโน ซึ่งการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารเหล่านี้จะแสดงออกมาให้เห็นโดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแร่ธาตุในกระดูก เกล็ดปลา อัตราการเจริญเติบโต และปริมาณการเก็บสะสมของฟอสฟอรัสในส่วนต่างๆ ของร่างกายปลา (Power Hughes and Soares, 1998; Lall, 2001) มีแร่ธาตุหลายชนิดที่มีรายงานว่าถูกนำไปใช้ได้เพิ่มขึ้นเมื่อเสริมเอนไซม์ไฟเตสลงในอาหาร ไดแก่ สังกะสี เหล็ก ทองแดง (Cheng and Hardy, 2002) เป็นต้น ซึ่งแร่ธาตุเหล่านี้ล้วนแต่มีประโยชน์ต่อร่างกายของปลา เช่นสังกะสี M.V. do Carmo e Sa และคณะ (2004) รายงานว่าสังกะสีเป็นแร่ธาตุที่มีผลต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลานิลถ้าได้รับในปริมาณที่เพียงพอ ซึ่งโดยส่วนใหญ่อาหารที่มีวัตถุดิบจากพืชเป็นส่วนประกอบนั้น จะมีไฟเตทในปริมาณสูงซึ่งมีคุณสมบัติเป็น คีเลตจะไปจับกับแร่ธาตุที่มีประจุบวกสอง ต่างๆ สังกะสีก็เป็นแร่ธาตุที่มีประจุบวกสอง ดังนั้นการเสริมเอนไซม์ไฟเตสลงในอาหารทำให้แร่ธาตุเหล่านี้ถูกใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้นจนเพียงพอ และสมดุลกับความต้องการของปลา ส่งผลให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตสูงขึ้น และสังกะสียังมีผลต่อการเก็บสะสมแคลเซียมในกระดูกปลาอีกด้วย ซึ่งการสะสมฟอสฟอรัสได้ในระดับที่สูงขึ้นแสดงให้เห็นว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารช่วยให้มีการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัส และสารอาหารอื่นๆ เพียงพอกับความต้องการของปลานิลแดงแปลงเพศ แต่การเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวเป็นการเพิ่มเฉพาะฟอสฟอรัสและแคลเซียมในอาหาร ซึ่งถ้าในอาหารมีฟอสฟอรัสมากจนเกินระดับความต้องการของปลานิลแล้ว จะมีผลต่อการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในอาหารได้ไม่สมบูรณ์ทำให้ค่าดัชนีการเก็บสะสมฟอสฟอรัสในตัวปลามีค่าน้อยลง (Rodentscord, 1996; Jahan *et al*., 2003) นอกจากนี้แร่ธาตุในอาหารที่สมดุล และพอดีกับความต้องการของปลามีผลทำให้การขับทิ้งของเสียจากอาหารนั้นลดลง (Cho and Burean, 2001)