



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ)

ปริญญา

เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การเสริมกรดอะมิโนไลซีนและ/หรือเมทไธโอนีนในอาหารปลาสายที่ประกอบด้วย
กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลัก

Supplemental Lysine and/or Methionine in Striped Catfish (*Pangasianodon*
hypophthalmus Sauvage, 1878) Diets Composed of Soybean Meal as Protein Source

นามผู้วิจัย นางสาวกฤษณา เตะตัน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์อรพินท์ จินตสถาพร, วท.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ประทีปย์ ตาบทพิยัวรรณ, Doctorat de 3 e c)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ศรีน้อย ชุ่มคำ, วท.ด.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงศ์เชษฐี พิชิตกุล, วท.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเสริมกรดอะมิโนไลซีนและ/หรือเมทไธโอนีนในอาหารปลาสวายที่ประกอบด้วยกากถั่วเหลือง
เป็นแหล่งโปรตีนหลัก

Supplemental Lysine and/or Methionine in Striped Catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*
Sauvage, 1878) Diets Composed of Soybean Meal as Protein Source

โดย

นางสาวกฤษณา เตบสัน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ)
พ.ศ. 2555

กฤษณา เติบสัน 2555: การเสริมกรดอะมิโนไลซีนและ/หรือเมทไธโอนีนในอาหารปลาสาวยที่ประกอบด้วยกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลัก ปรญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ) สาขาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ อรพินท์ จินตสถาพร, วท.ด. 101 หน้า

การศึกษากิจกรรมเอนไซม์โปรติเอส อะไมเลส เซลลูเลส เพคตินเอส และไลซานในปลาสาวย พบว่า กิจกรรมเอนไซม์โปรติเอสมีค่าสูงสุดในลำไส้ที่พีเอช 8 มีค่า 0.41 หน่วย/นาที่/มิลลิกรัมโปรตีน อะไมเลสมีค่าสูงสุดในลำไส้ที่พีเอช 8 มีค่า 0.064 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที่ เซลลูเลสมีค่าสูงสุดในลำไส้ที่พีเอช 7 มีค่า 0.032 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที่ เพคตินเอสมีค่าสูงสุดในลำไส้ที่พีเอช 8 มีค่า 0.028 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที่ และ ไลซานมีค่าสูงสุดในลำไส้ที่พีเอช 6 มีค่า 0.036 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที่

การศึกษาผลของการเสริมกรดอะมิโนไลซีนและ/หรือเมทไธโอนีนในอาหารปลาสาวยที่ประกอบด้วยกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลัก เพื่อประเมินผลของการเจริญเติบโต สุขภาพปลา และเปอร์เซ็นต์ซาก ให้ อาหารทุกชุดการทดลองมีระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานรวม 4,500 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) แบ่งเป็น 5 ชุดการทดลอง โดยให้อาหารมีสูตรแตกต่างกัน ดังนี้ อาหารสูตรที่ 1 (ชุดควบคุม) ประกอบด้วยปลาป่น 5 เปอร์เซ็นต์ เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.3 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 2-5 ไม่มีปลาป่น เสริมกรดอะมิโนไลซีน 0.05, 0.65, 0.05 และ 0.65 เปอร์เซ็นต์ กรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.38, 0.38, 0.8 และ 0.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ น้ำหนักปลาเฉลี่ยเริ่มต้น 8.5 ± 0.5 กรัม เลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 1000 ลิตร ปลอยปลาที่ความหนาแน่น 25 ตัว/ถัง ให้อาหารวันละ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว เลี้ยงเป็นเวลา 12 สัปดาห์ สิ้นสุดการทดลองพบว่า สมรรถภาพ การเจริญเติบโตมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ปลาที่ได้รับอาหารในสูตรที่ 3 และอาหารสูตรที่ 4 จะให้สมรรถภาพการผลิตที่ดีกว่า ชุดอื่นๆ การใช้ประโยชน์อาหาร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ปลาที่ได้รับอาหารสูตร 3, สูตรที่ 4 และสูตรที่ 5 ให้ค่าที่ดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารในชุดควบคุม และสูตรที่ 2 ต้นทุนค่าอาหารเพื่อให้ได้ปลา 1 กิโลกรัม มีค่าแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) ชุดควบคุมที่มีปลาป่นให้ค่าสูงกว่าชุดอื่นๆ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 5 ค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อ ส่วนที่บริโภค ค่าดัชนีคืบต่อตัว ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) ปริมาณแตรที่นอยด์รวมในเนื้อปลามีค่าแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) ค่าของโปรตีน และกลูโคสในเลือดไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) ค่าไกลโคเจนในตับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ปลาที่ได้รับอาหารทดลองในสูตรที่ 3 มีค่าสูงที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติจากปลาที่ได้รับอาหารในสูตรที่ 4 ดังนั้นอาหารปลาสาวยที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลักเมื่อเสริมกรดอะมิโนไลซีน 0.65 % หรือเมทไธโอนีน 0.8 เปอร์เซ็นต์ ให้การเจริญเติบโต สุขภาพปลาสาวยที่ดีกว่าอาหารชุดควบคุมที่มีปลาป่น 5 เปอร์เซ็นต์

Krissana Tebsun 2012: Supplemental Lysine and/or Methionine in Striped Catfish (*Pangasianodon hypophthalmus* Sauvage, 1878) Diets Composed of Soybean Meal as Protein Source. Master of Science (Aquaculture), Major Field: Aquaculture, Department of Aquaculture. Thesis Advisor: Associate Professor Orapint Jintasataporn, Ph.D. 101 pages.

The activity of enzyme protease, amylase, cellulase, pectinase, and xylanase in striped catfish found that the activity of protease was highest in the intestine at pH 8 (0.41 units /mg protein/min). The highest activity of amylase presented in the liver at pH 8 (0.064 units /mg protein/min). The highest activity of cellulase exhibited in the liver at pH 7 (0.032 units/mg protein/min). The activity of pectinase was highest in the liver at pH 8 (0.028 units/mg protein/min) and the activity of xylanase was highest in the liver at pH 6 (0.036 units/mg protein/min).

The research on supplemental lysine and/or methionine in striped catfish diets composed of soybean meal as protein source was conducted to evaluate the effect on growth performance, fish health and carcass composition. The research was assigned in CRD with 5 treatments and 3 replicates. Five isonitrogenous (30%CP) and isocaloric (GE.4,500 Kcal/Kg) were formulated. Diet 1 was control diet with 5% fish meal and methionine 0.3%. Diet 2, 3, 4 and 5 were soy base diets without fishmeal and supplemental lysine 0.05, 0.65, 0.05 and 0.65% incorporated with methionine 0.38, 0.38, 0.8 and 0.8%, respectively. Catfish with average weight of 8.5 ± 0.5 g/fish, were stocked in 1,000 L fiber tank at density of 25 fish/m². Fish were fed at 3% body weight for 12 weeks. The results showed significant difference ($P < 0.05$) on growth performance. Fish fed diet without fishmeal in treatment 3 and treatment 4 exhibited the better performance than other treatments. Feed utilization was significantly difference among treatments ($P < 0.05$). The treatment 3, treatment 4, and treatment 5 exhibited the better performance than treatment 1 (control) and treatment 2. The feed cost for produce fish to 1 kg was significantly difference ($P < 0.05$). The feed cost of treatment 1 (control) higher cost than the other treatments but was not significantly difference when compared with treatment 2, and treatment. Carcass composition in term of percentage of fillet and hepatosomatic index were not significantly differences ($P > 0.05$). Total carotenoid in fillet was significantly difference among treatments ($P < 0.05$). Serum protein and blood glucose were not significantly differences ($P > 0.05$). Glycogen in liver was significantly difference among treatments ($P < 0.05$). The fish were fed the treatment 3 had the highest but was no significant difference in fish fed on treatment 4. Therefore, striped catfish diets of soy based with supplemental lysine 0.65% or methionine 0.8% present the higher growth performance and animal health than fish meal based diet (5% fish meal).

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้า ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อรพินท์ จินตสถาพร ประธาน
กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆใน
วิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้การสนับสนุนทุนในการศึกษาและวิจัยวิทยานิพนธ์
และอำนวยความสะดวกในทุกๆ ด้าน

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ประทีป تابทิพย์วรรณ และ รอง
ศาสตราจารย์ ดร. ศรีน้อย ชุ่มคำ กรรมการที่ปรึกษาร่วม ประธานการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย และ
ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์และสำเร็จ
ลงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดี

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่บิดา มารดา และพี่ๆ
ที่ได้อบรมสั่งสอน สนับสนุนการศึกษาตั้งแต่แรกเริ่มจนถึงปัจจุบัน และให้กำลังใจข้าพเจ้ามาตลอด
ในทุกๆ เรื่อง

กฤษณา เติบสัน
พฤษภาคม 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	35
วิธีการ	37
ผลและวิจารณ์	50
สรุปและข้อเสนอแนะ	75
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	78
ภาคผนวก	90
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	101

สารบัญตาราง

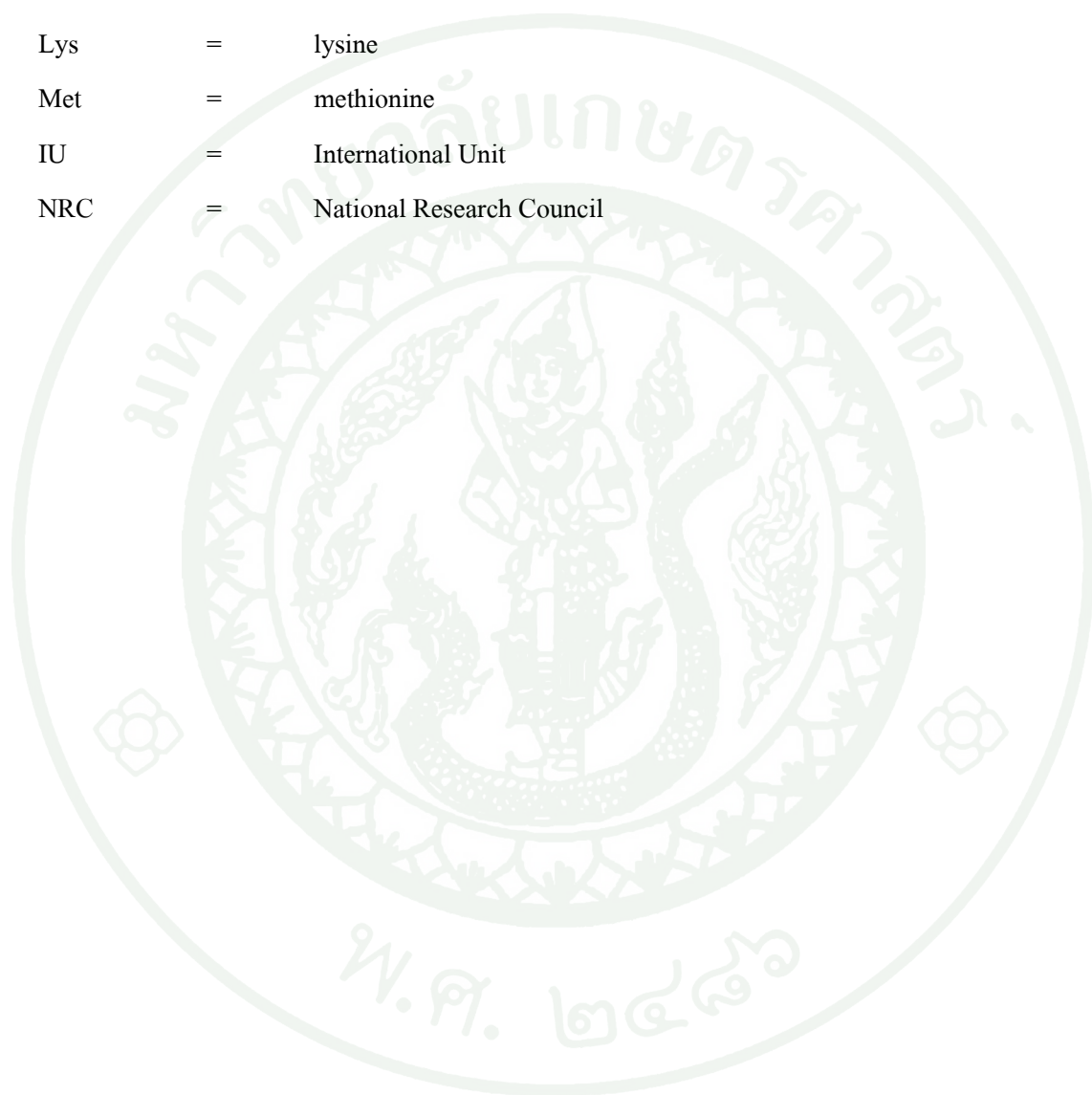
ตารางที่	หน้า
1 ปริมาณการผลิต ความต้องการใช้ การนำเข้าและส่งออกปลาป่นของไทย ปี 2550 – 2554	11
2 ราคาเฉลี่ย ปลาแป็ดและปลาป่นในประเทศ ณ ระดับตลาดต่างๆ และราคาปลาป่น ตลาดต่างประเทศ	12
3 องค์ประกอบทางโภชนาการของปลาป่น และกากถั่วเหลือง	15
4 กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น และสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์	21
5 ชนิดกรดอะมิโนจำเป็นและไม่จำเป็น	27
6 ปริมาณความต้องการกรดอะมิโนในปลา	27
7 ปริมาณความต้องการกรดอะมิโนของปลาในโปรตีน (100 %)	28
8 ส่วนประกอบอาหารและคุณค่าทางเคมีในอาหารปลาสวย	41
9 การเจริญเติบโต และอัตราการรอด ของปลาสวยเมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะ เวลา 12 สัปดาห์ (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)	57
10 การใช้ประโยชน์จากอาหาร และต้นทุนการผลิตปลาสวยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)	60
11 แสดงคุณภาพเนื้อ และค่าดัชนีตับต่อตัว ของปลาสวยที่ได้รับอาหารทดลองเป็น ระยะ เวลา 12 สัปดาห์ (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)	69
12 ค่าโลหิตวิทยา และไกลโคเจนในตับ ของปลาสวยเมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะ เวลา 12 สัปดาห์ (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)	72
13 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ปริมาณแอมโมเนีย ปริมาณไนไตรท์ ค่าความเป็นกรด เป็นด่างของน้ำ และอุณหภูมิ ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 12 สัปดาห์ (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)	74

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แสดงปริมาณการส่งออกปลาสวายทั่วโลก ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950-2010	4
2 แสดงราคาเฉลี่ยปลาป่นโปรตีน 65 % F.O.B. ตลาดต่างประเทศ ในช่วงปี 2550-2554	10
3 สูตรโครงสร้างกรดอะมิโน	19
4 แผนภาพเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโน	24
5 สูตรโครงสร้างกรดอะมิโนไลซีน	26
6 สูตรโครงสร้างกรดอะมิโนเมทไธโอนีน	26
7 กิจกรรมเอนไซม์โปรติเอสของปลาสวาย	51
8 กิจกรรมเอนไซม์อะไมเลสของปลาสวาย	52
9 กิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสของปลาสวาย	53
10 กิจกรรมเอนไซม์เพคตินเอสของปลาสวาย	54
11 กิจกรรมเอนไซม์ไซทานเนสของปลาสวาย	55

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

DDGS	=	Dry distillers grains with solubles
FM	=	fish meal
Lys	=	lysine
Met	=	methionine
IU	=	International Unit
NRC	=	National Research Council



การเสริมกรดอะมิโนไลซีนและ/หรือเมทไธโอนีนในอาหารปลาสาวยที่ประกอบด้วย กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลัก

Supplemental Lysine and/or Methionine in Striped Catfish (*Pangasianodon hypophthalmus* Sauvage, 1878) Diets Composed of Soybean Meal as Protein Source

คำนำ

ในปัจจุบันการเลี้ยงปลาสาวยได้เป็นที่สนใจของเกษตรกรผู้เลี้ยงมากขึ้น มีแนวโน้มทางด้านตลาดที่ดีขึ้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้พยายามผลักดันให้เป็นปลาที่สามารถส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศ และแข่งขันกับตลาดต่างประเทศได้ ทั้งในด้านคุณภาพเนื้อปลา และราคา แต่ในการเลี้ยงปลาสาวยให้ได้ผลผลิตที่ดีตามที่ต้องการนั้น ต้องมีการจัดการที่ดีโดยเฉพาะทางด้านอาหาร เพราะอาหารปลาสาวยเป็นจุดสำคัญจุดหนึ่ง จะเลี้ยงให้ประสบความสำเร็จหรือไม่ได้ทำไร่นั้นอยู่ที่การหาวัตถุดิบมาใช้เป็นอาหาร ถ้าหากได้วัตถุดิบมาด้วยคุณภาพเหมาะสม ราคาถูก การเลี้ยงก็ได้กำไร แต่เนื่องจากที่ผ่านมาเกษตรกรจะประสบกับปัญหาทางด้านต้นทุนอาหารที่สูงขึ้นเรื่อยๆ เพราะวัตถุดิบที่นำมาผลิต เช่น ปลาป่น ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สำคัญ และเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพสูง มีความผันแปรทางด้านราคา ทางด้านหน่วยงานต่างๆ จึงได้คิดผลิตสูตรอาหารในการนำวัตถุดิบจากส่วนอื่นมาทดแทน เช่น กากถั่วเหลือง กากเมล็ดทานตะวัน มาทดแทนปลาป่น แต่วัตถุดิบดังกล่าวก็มีกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น เมไทโอนีนในปริมาณที่ต่ำ (ดกวรรณ, 2550) ทำให้ปัจจุบันได้มีการศึกษาถึงการนำกรดอะมิโนสังเคราะห์มาเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์เพื่อเสริมให้ครบตามความต้องการของสัตว์ชนิดนั้นๆ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ผลิตสูตรอาหารปลาสาวยโดยลดวัตถุดิบปลาป่น และใช้วัตถุดิบจากกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลักเพื่อลดต้นทุนในการผลิตอาหาร แต่ทั้งนี้ในการใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองทดแทนปลาป่นอาจมีผลต่อการเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกัน คุณภาพเนื้อ ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้ล้วนเกี่ยวข้องกับกรดอะมิโน โดยเฉพาะกรดอะมิโนเมไทโอนีน และไลซีน กรดอะมิโนเมไทโอนีนจะมีอยู่ในสูตรอาหารที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลักในปริมาณที่ต่ำกว่าความต้องการของปลาสาวย ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่มีความสำคัญ ร่างกายไม่สามารถ

สังเคราะห์ได้เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย โดยร่างกายต้องการเมทไธโอนีนเพื่อขบวนการสังเคราะห์โปรตีน เป็นสารตั้งต้นของกรดอะมิโนบางชนิด เช่น cystine และสามารถเปลี่ยนเป็นสารอื่นๆที่ร่างกายมีความต้องการ เช่น homocysteine, cysteine สำหรับกรดอะมิโนไลซีนจะมีความสำคัญซึ่งจะสามารถเปลี่ยนเป็นสารอื่นที่ร่างกายต้องการ เช่น carnitine, desmosine (ศรีสกุลและรณชัย, 2539) นอกจากนั้นกรดอะมิโนจะเกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันโดยเลือดของสัตว์มีโปรตีนอยู่หลายชนิด ดังนั้นในการศึกษาจึงมีการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน และไลซีนสังเคราะห์ ในสูตรอาหารปลาซวาย เพื่อให้มีความสมดุลของกรดอะมิโนตามความต้องการของปลา เพื่อให้ปลายังคงมีการเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกัน และคุณภาพเนื้อที่ดี เป็นที่ต้องการของผู้เลี้ยงและผู้บริโภค สำหรับกิจกรรมเอนไซม์จะมีความศึกษาเพื่อเป็นประโยชน์ ในการนำข้อมูลผลิตสูตรอาหารเลี้ยงปลาซวาย และพัฒนาสูตรอาหารที่เหมาะสมกับศักยภาพการย่อยอาหารและการใช้อาหารของปลาในแต่ละช่วงอายุได้

วัตถุประสงค์

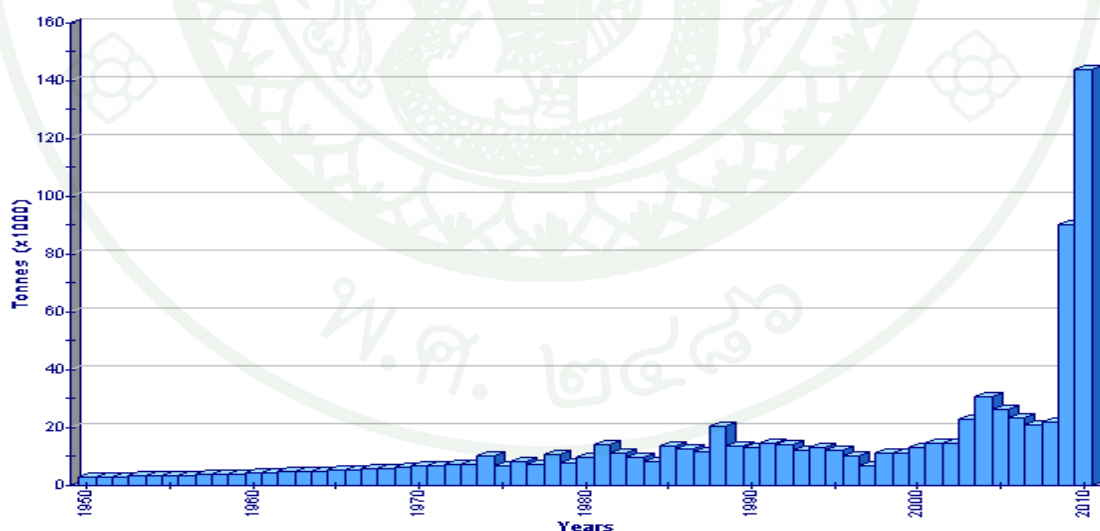
1. เพื่อศึกษากิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส, อะไมเลส, เซลลูเลส, เพคตินเอส และไลลาเนส ในระบบทางเดินอาหารปลาซวาย
2. เพื่อศึกษาผลการเสริมกรดอะมิโนไลซีนและ/หรือเมทไธโอนีนในอาหารปลาซวายที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลัก ต่อการเจริญเติบโต คุณภาพเนื้อ และสุขภาพของปลาซวาย



การตรวจเอกสาร

ปลาสวายเป็นปลาน้ำจืดขนาดใหญ่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ มีการกระจายพันธุ์ในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ Smith (1945) รายงานว่าปลาสวายมีแหล่งกำเนิดในอินเดียและพม่า ต่อมาได้แพร่พันธุ์เข้ามาในประเทศไทยและอินโดนีเซีย ในประเทศไทยจะพบว่ามีความชุกชุมในบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตั้งแต่จังหวัดพระนครศรีอยุธยาเรื่อยไปจนถึงนครสวรรค์เป็นปลาที่เลี้ยงง่ายเจริญเติบโตเร็ว ไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องโรคและพยาธิ เป็นปลาที่เลี้ยงง่ายทั้งในบ่อและกระชัง จึงเป็นที่นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย ทำให้มีปริมาณเพิ่มขึ้น จากสถิติผลผลิตในประเทศไทยปี พ.ศ. 2551 มีปริมาณ 21,471 ตัน คิดเป็นมูลค่า 480.4 ล้านบาท (กรมประมง, 2553) และผลผลิตในการส่งออกรวมทั่วโลกในปี 2553 มีปริมาณ 143,751 ตัน ประเทศเวียดนามเป็นประเทศที่มีการส่งออกสูงสุด รองลงมาเป็นประเทศไทย กัมพูชา ลาว พม่า บังกลาเทศ และจีน (FAO, 2012) ซึ่งปัจจุบันปลาสวายกำลังเป็นที่นิยมของตลาดและมีความต้องการสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในแถบยุโรป ประเทศในแถบเอเชีย เม็กซิโก ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา และตลาดใหม่ เช่น รัสเซีย

ปริมาณ: ตัน (x 1,000)



ปี ค.ศ.

ภาพที่ 1 แสดงปริมาณการส่งออกปลาสวายทั่วโลก ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950-2010

ที่มา: FAO Fishery Statistic (2012)

1. ชีววิทยาของปลาสวาย

ปลาสวาย ชื่อสามัญ striped catfish ชื่อวิทยาศาสตร์ *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage, 1878) เป็นปลาน้ำจืด ประเภทไม่มีเกล็ดอยู่ในสกุลเดียวกับปลาเทโพ ปลาสังกะวาด อยู่ในครอบครัว Pangasiidae ลักษณะลำตัวค่อนข้างเรียวยาว ความยาวของลำตัวประมาณ 4.5 เท่าของความยาวส่วนหัว หัวค่อนข้างกว้างแต่ไม่แบนมาก ตามีขนาดเล็ก ปากอยู่ต่ำ (Inferior Mouth) ปากกว้าง มีหนวด 2 คู่ อยู่บนขากรรไกรบน 1 คู่ และขากรรไกรส่วนล่าง 1 คู่ มีซี่เหงือก (Gill Rakers) 20 ซี่เรียงเป็นแถวบนขากรรไกรทั้ง 2 คู่ มีฟันบนเพดานเรียงเป็นแถว 2 แถว ครีบหลังมีสีเทาปนดำ ตามครีบบมีสีเหลืองอ่อน ส่วนที่ปลายหางครีบหลัง และครีบอกมีสีค่อนข้างดำ (วรวิทย์, 2547) ปลาสวายมักจะว่ายรวมกันเป็นฝูง อาศัยอยู่ในน้ำลึกที่มีกระแสน้ำไหลถ่ายเทได้ ชอบรวมกลุ่มพักอยู่ในที่ร่มใกล้พื้นน้ำ เป็นปลาที่ตื่นตกใจง่ายเมื่อถูกรบกวนหรือถูกทำอันตราย (ดีพร้อม, 2526)

1.1 อาหารปลาสวาย

ปลาสวายเป็นปลาที่กินอาหารได้ทุกประเภทโดยไม่เลือก ได้แก่ พืช สัตว์เล็กๆที่อยู่ในน้ำ ตลอดจนพวกจอกแหน และยังสามารถในการใช้มูลสัตว์ ให้เป็นอาหารโดยตรงได้อีกด้วย แต่ในกรณีที่อาหารในธรรมชาติมีไม่เพียงพอความต้องการของปลาในบ่อ ประกอบกับปลามีการเจริญเติบโตขึ้นเรื่อยๆ อัตราการกินอาหารแต่ละวันก็เพิ่มขึ้น จำเป็นต้องให้อาหารสมทบเพิ่มเติม เช่น รำ ปลาขี้ขาว กากถั่วเหลือง กากมะพร้าว และนอกจากนี้ปลาสวายยังสามารถปรับตัวกินอาหารเม็ดได้ ตัวอย่างอาหารเม็ดดังกล่าวประกอบด้วย ปลาป่น 10.0%, กากถั่วเหลือง 35.0%, ปลาขี้ขาว 50.0%, น้ำมันพืชหรือน้ำมันปลา 1.5%, ไค-แคลเซียมฟอสเฟต 3.0%, วิตามินและแร่ธาตุ (ศุภวรรณ, 2552)

1.2 โรคของปลาสวาย

โดยปกติปลาสวายไม่ค่อยเป็นโรค แต่โรคที่พบได้บ้างคือ

1. โรคที่เกิดจากพยาธิ “อิช” (*Ichthyophthirius* sp.) เกิดทั้งในปลาขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ตัวพยาธิจะอยู่ใต้ผิวหนังและดูดเลือดกินเป็นอาหาร จะปรากฏจุดสีขาวกระจายทั่วลำตัว มี

เมื่อกหลุดออกมา และมีอาการเฉื่อยชา มักเกิดจากการเลี้ยงปลาหนาแน่นมากเกินไป อาหารคุณภาพ ไม่พอเพียง อุณหภูมิต่ำ

2. โรคที่เกิดจากพยาธิ “ไทรโคดิวา” (*Trichodina* sp.) ส่วนมากเกิดกับปลานขนาดเล็ก พยาธิจะเกาะอยู่ตามลำตัว ซึ่งเหงือก มีลักษณะเป็นแผ่นเยื่อบางๆ ปกคลุมบริเวณดังกล่าว ทำให้ปลา มีอาการเฉื่อยชา ไม่ค่อยกินอาหาร และตายในที่สุด

3. โรคท้องบวม เกิดกับปลาสายทุกชนิด ส่วนท้องของปลาจะบวมออกมาเห็นได้ ชัดเจน ปลามีการเคลื่อนไหวช้าลง และตายในที่สุด

4. โรคที่เกิดจากพยาธิ “แดคไทโลไซรัส” (*Dactylogyrus* sp.) หรือพวกพยาธิตัวแบน เกิดกับปลาทุกขนาด มีอาการหายใจไม่สะดวก พยาธิจะเข้าเกาะ และทำลายซึ่งเหงือกปลา

5. โรคหูดเม็ดข้าวสาร จะมีตุ่มสีขาวขุ่นอยู่ตามลำตัว ลักษณะคล้ายเม็ดข้าวสาร มักพบในกรณีที่ มีการปล่อยปลาเลี้ยงอย่างหนาแน่น และการถ่ายเทน้ำไม่สะดวก มีอาการพอมไม่กินอาหารและทยอย ตายสาเหตุของโรคเกิดจากเชื้อสปอร์โรซัวขนาดเล็ก

คุณค่าทางอาหารของเนื้อปลาสวาย โปรตีน 14%, ไขมัน 5.5%, ความชื้น 77.5%, แคลเซียม ฟอสฟอรัส เกลือ คาร์โบไฮเดรต และเถ้า (ศุภวรรณ, 2552)

2. ระบบทางเดินอาหาร (digestive tract)

ระบบทางเดินอาหารของปลา ประกอบด้วย

2.1 ปาก (mouth)

ทำหน้าที่รับอาหาร รับน้ำเพื่อหายใจ ช่วยในการยึดเกาะ บางชนิดใช้ในการต่อสู้ศัตรู บางชนิดใช้ในการหาอาหาร ปลาที่มีปากขนาดเล็ก เช่น ปลากะดี่ ปลาสลิด ปลาสวายเป็นปลาที่มี ปากขนาดกลาง

2.2 ช่องปากและคอหอย (pharynx)

เป็นบริเวณที่อยู่ถัดจากอู่ปากก่อนถึงหลอดคอ เป็นช่องแคบเหมือนกรวยก่อนนำอาหารไปสู่หลอดคอ ในบริเวณนี้จะสั้นและมีซี่กรองยื่นล้ำเข้ามา ทำหน้าที่สกัดกั้นหรือกรองอาหารแล้วส่งผ่านไปยังหลอดคอ

2.3 หลอดอาหาร (esophagus)

หลอดอาหารเป็นส่วนที่อยู่ระหว่างปากและกระเพาะอาหาร เป็นหลอดหรือท่อที่แท้จริง แต่มีขนาดสั้นมาก เนื่องจากปลาไม่มีคอ ทำให้หลอดคามีขนาดพอๆกับกระเพาะอาหาร ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของอาหารจากปากไปสู่กระเพาะอาหาร

2.4 กระเพาะอาหาร (stomach)

กระเพาะอาหารเป็นส่วนหนึ่งของระบบทางเดินอาหาร มีหน้าที่ในการย่อยและดูดซึมสารอาหาร ปลาแต่ละชนิดจะมีขนาดและรูปร่างกระเพาะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการกินอาหาร ผิวภายในกระเพาะอาหารเป็นรอยย่นถี่ และมีต่อมทำหน้าที่ขับน้ำย่อยอยู่เป็นจำนวนมาก ต่อมกระเพาะอาหาร (gastric gland) พบเฉพาะในปลากระดูกเนื้อ มีกรดเกลือ (HCl) Pepsinogen ซึ่งต่อมนี้ไม่พบในปลาตะเพียน ทำหน้าที่ย่อยโปรตีนให้มีขนาดเล็กลง กระเพาะอาหารปลา แบ่งเป็น 2 ตอน คือ ส่วนต้นเรียกว่า Cardiac และส่วนปลายเรียก Pyloric ส่วนต้นมีต่อมสร้างน้ำย่อย ส่วนปลายไม่มีต่อมสร้างน้ำย่อย (ลำยอง, 2534) โดยรูปร่างของกระเพาะปลาสาวยจะเป็นรูปตัวยู (เวียง, 2540)

2.5 ลำไส้ (intestinal)

ลำไส้เล็กเป็นอวัยวะที่ยาวที่สุดในระบบทางเดินอาหารด้วยกัน อาจจะเป็นท่อเหยียดตรงหรือขดม้วนทับกันเป็นก้อนใหญ่ ลำไส้เล็กของปลาแบ่งเป็น 3 ตอน

2.5.1 Duodenum อยู่ถัดจากส่วนท้ายของกระเพาะอาหารทอดยาวไปทางหาง เป็นตอนที่ยาวกว่าส่วนอื่น ร่องรอยที่บ่งชี้ว่าแยกออกจากส่วนของกระเพาะ คือมีสีต่ำกว่ากระเพาะ เนื่องจากท่อน้ำดีมาเปิดบริเวณนี้

2.5.2 Jegunum อยู่ถัดจากลำไส้ตอนแรก มีขนาดสั้นกว่า แต่สีส้มและความใหญ่อาจจะไม่แตกต่างกัน ส่วนนี้อาจวกกลับไปทางหัว

2.5.3 Ilium สั้นและแคบกว่าตอนอื่นๆ เหยียดไปทางหาง

ลำไส้ของปลาสาวยมีความยาวประมาณ 3.5 เท่าของความยาวลำตัว (เวียง, 2540) โดยในบริเวณลำไส้จะมีเซลล์ผลิตน้ำย่อย และเซลล์ผลิตเมือก โดยเซลล์หลั่งน้ำย่อยสามารถหลั่งน้ำย่อยหรือเอนไซม์ออกมาช่วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรตและไขมัน

3. อวัยวะช่วยย่อยอาหารหรือต่อมสมทบ (accessory gland)

เป็นต่อมที่ผลิตน้ำย่อยเพื่อช่วยในการย่อยอาหารเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยอาหารให้ดียิ่งขึ้น ได้แก่ ตับ ถุงน้ำดี และม้าม

3.1 ตับ (Liver)

เป็นต่อมที่มีขนาดใหญ่ โดยตับของปลาที่กินสัตว์จะใหญ่กว่าตับของปลากินพืช รูปร่างและขนาดแตกต่างกันไป เนื้อเยื่อของปลา channel catfish จะแบ่งเป็นพูไม่ชัดเจน ประกอบด้วย lamina หนา (Hinton and Pool, 1976) ตับเป็นอวัยวะที่ช่วยในการย่อยอาหาร และตับอ่อนจะมีต้นกำเนิดมาจากบางส่วนของลำไส้ โดยมีท่อขนาดเล็กมากติดต่อกับลำไส้เล็กตอนต้น บริเวณถุงน้ำดี ตำแหน่งของตับอ่อนอยู่ท้ายกระเพาะอาหารตรงบริเวณไส้ติ่งกับม้าม และมีบางส่วนแนบอยู่ในตับ มีหน้าที่ผลิตเอนไซม์อะไมเลส ทริปซิน และอินซูลิน ในปลาบางชนิด เช่น channel catfish และปลาคาร์พ เนื้อเยื่อของตับอ่อนบางส่วนจะแทรกเข้าไปภายในเนื้อเยื่อตับตามแขนงของเส้นเลือด hepatic portal vein รวมเรียกว่า เฮพาโตแพนแครีซ (Takashima and Hibiya, 1995)

3.2 ถุงน้ำดี (gall bladder)

เป็นถุงบางใส มีสีเขียวแก่ มีขนาดเล็ก ภายในถุงมีน้ำดี (bile) ซึ่งผลิตมาจากตับ มีรสขม จากถุงน้ำดีจะมีท่อไปสู่ส่วนต้นของลำไส้เล็ก ประโยชน์ของน้ำดีคือ เป็น emulsifying agent และช่วยปรับค่าความเป็นกรดด่างในน้ำย่อยอาหารให้เหมาะสม

3.3 ม้าม (spleen)

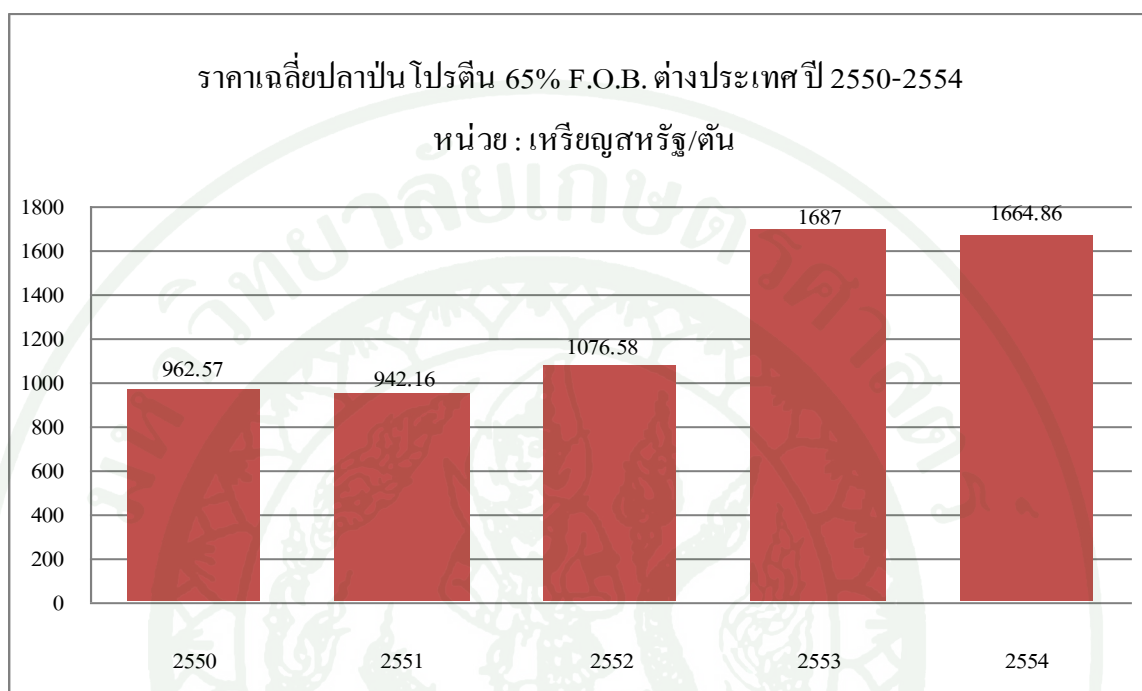
เป็นอวัยวะที่มีสีแดงเข้ม อยู่ใกล้กับส่วนต้นของกระเพาะอาหาร เป็นส่วนหนึ่งของระบบท่อน้ำเหลือง มีหน้าที่หลักในการทำลายเม็ดเลือดแดง และเก็บสะสมเกล็ดเลือดเพื่อนำกลับไปสร้างเม็ดเลือดใหม่

4. วัตถุดิบแหล่งโปรตีนในการผลิตอาหารปลา

4.1 ปลาป่น (fish meal)

ปลาป่นเป็นวัตถุดิบหลักสำคัญที่ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ เพราะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงมีโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็นที่ครบถ้วน และปลาป่นที่คุณภาพดีจะมีวิตามินบี12 แคลเซียม ฟอสฟอรัสประกอบอยู่สูง (สุกมาส, 2538) แต่หลายปีที่ผ่านมาปลาป่นมีราคาแพง ผันผวนและราคามีแนวโน้มที่สูงขึ้น เนื่องจากผลผลิตปลาป่นมีแนวโน้มลดลง โดยผลผลิตปลาป่นของโลกในช่วง 5 ปี (2550-2554) ที่ผ่านมามีแนวโน้มลดลงร้อยละ 2.18 ต่อปี เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก ทำให้อุณหภูมิของน้ำทะเลสูงขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้การจับปลาที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในบางภูมิภาคจับได้มากขึ้น ในขณะที่บางภูมิภาคจับได้น้อยลง ประกอบกับประเทศเปรูซึ่งเป็นประเทศที่เป็นผู้ผลิตรายใหญ่จะมีการกำหนดโควตาในแต่ละปี และกำหนดช่วงฤดูการจับปลา ประเทศชิลีมีผลผลิตลดลงเนื่องจากเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว พื้นที่อุตสาหกรรมได้รับความเสียหาย ประกอบกับความต้องการใช้ปลาป่นสูงขึ้นเพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่เพิ่มขึ้น เพราะการจับสัตว์น้ำจากธรรมชาติมีปริมาณน้อยลง โดยเฉพาะประเทศจีนมีการนำเข้าปลาป่นมากที่สุด สำหรับผลผลิตปลาป่นทั่วโลกมีปริมาณ 4.93 ล้านตัน ในประเทศไทยในช่วง 5 ปี (2550-2554) ที่ผ่านมามีแนวโน้มการผลิตเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 3.05 เปอร์เซนต์ เนื่องจากปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมปลาป่นมีการปรับปรุงการผลิตเข้าสู่มาตรฐานสากลได้มากขึ้น ประกอบกับอุตสาหกรรมประมงไทยสามารถเพิ่มศักยภาพในการจับปลาจากการทำความตกลงด้านการประมงกับประมงต่างประเทศ โดยไทยสามารถเพิ่มผลผลิตจาก

0.520 ล้านบาทในปี 2553 เป็น 0.550 ล้านบาทในปี 2554 (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554)



ภาพที่ 2 แสดงราคาเฉลี่ยปลาป่นโปรตีน 65 % F.O.B. ตลาดต่างประเทศ ในช่วงปี 2550 - 2554

หมายเหตุ: ราคาเฉลี่ยในปี 2554 เป็นค่าเฉลี่ยตั้งแต่ มกราคม- กรกฎาคม 2554

ที่มา: สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2554)

ตารางที่ 1 ปริมาณการผลิต ความต้องการใช้ การนำเข้าและส่งออกปลาป่นของไทย ปี 2550 – 2554

หน่วย: ล้านตัน

รายการ	2550	2551	2552	2553	2554*	อัตรา เปลี่ยนแปลง
ผลผลิต	0.523	0.426	0.443	0.52	0.550	3.05
ความต้องการใช้	0.521	0.422	0.438	0.475	0.481	-0.41
นำเข้า	0.004	0.001	0.002	0.001	0.001	-24.21
ส่งออก	0.006	0.005	0.007	0.047	0.036	79.04

หมายเหตุ: * ประเมินการ

ที่มา: สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2554)

นอกจากนี้ยังเจอปัญหาในปลาป่น เช่น มีการปลอมปนด้วยเปลือกหอย ทราย แกลบ บดละเอียด ขนไก่ป่นที่มีคุณภาพไม่ดี มีการตกค้างของสารพิษที่มาจากการฉีดป้องกันแมลงวัน เช่น ดีดีที ปัญหาจากปลาป่นที่ไม่สุกซึ่งอาจมีสารไทอามีนเนสตักค้าง โดยสารนี้จะมีผลในการทำลาย วิตามินบี-1 (ไทอามีน) ปลาป่นที่ผ่านอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้คุณค่าทางอาหารของปลาป่น ลดลง หรือปลาป่นที่มีไขมันสูงเกินไปจะทำให้เกิดการเหม็นหืนได้ง่าย สามารถป้องกันได้ด้วยการ เติมสารพวก antioxidant (สารกันหืน) และในกรณีที่ปลาป่นมีเกลืออยู่สูงเกินไปจะทำให้ในสัตว์บก ท้องเสียได้ง่าย (ประยูร, 2529)

ตารางที่ 2 ราคาเฉลี่ย ปลาแปดและปลาป่นในประเทศ ณ ระดับตลาดต่างๆ และราคาปลาป่นตลาดต่างประเทศ

หน่วย: บาท/กก.

รายการ	2550	2551	2552	2553	2554	อัตราเพิ่ม (ร้อยละ)
- ราคาปลาแปดคละ	5.79	8.36	7.86	8.69	8.60	8.65
- ขายส่งปลาป่นคุณภาพต่ำกว่า 60 โปรตีน เบอร์ 2	20.81	28.15	31.09	29.69	28.44	7.02
- ขายส่งปลาป่นคุณภาพสูงกว่า 60 โปรตีน เบอร์ 2	23.25	29.22	32.09	30.59	28.57	4.69
- F.O.B. เปรู	30.88	28.58	32.63	43.87	36.82	8.12

ที่มา: สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2554)

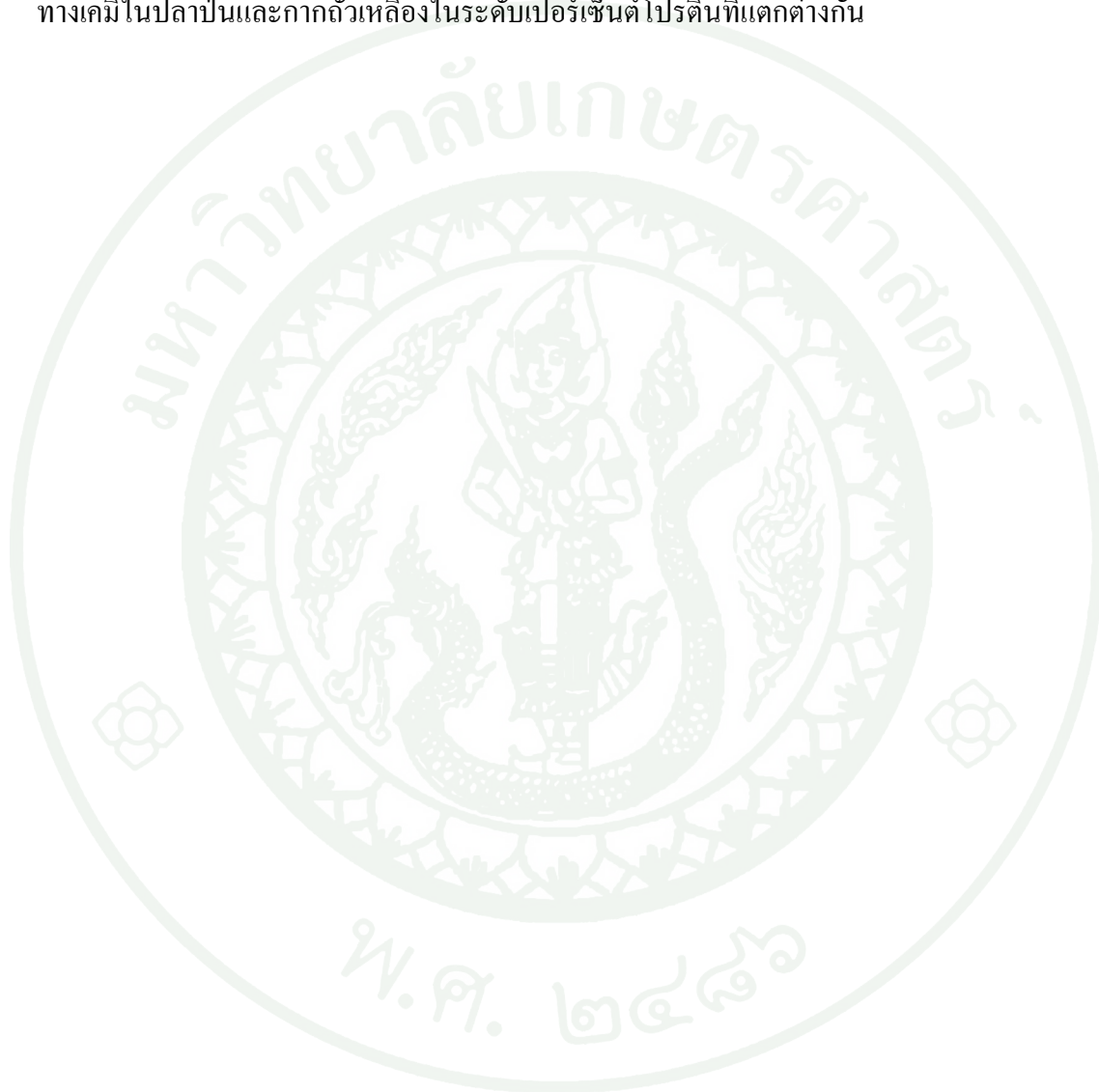
4.2 กากถั่วเหลือง (soybean meal)

กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่มีคุณภาพสูงสุด เป็นผลพลอยได้จากกา รสกัดน้ำมันจากเมล็ดถั่วเหลืองเมื่อสกัดเอาน้ำมันออกจะมีโปรตีนเฉลี่ย 44 เปอร์เซ็นต์ ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ มีกรดอะมิโนจำเป็นหลายตัว แต่มีกรดอะมิโนบางตัวอยู่ในระดับต่ำโดยเฉพาะเมทไธโอนีน ในทางการค้าได้แบ่งออกเป็น 2 เกรด คือกากถั่วเหลือง 44 % และ 48% กากถั่วเหลือง 44 % เป็นกากถั่วเหลืองที่มีเปลือกผสมอยู่ด้วย กากถั่วเหลือง 48 % คือกากถั่วเหลืองที่กระเทาะเอาเปลือกออก ไม่มีส่วนของเปลือกปน ถั่วเหลืองดิบมีสารพิษอยู่มาก มีทั้งสารที่เป็นตัวกระตุ้น และแก้แ่ง รวมทั้งสารที่ทำให้เกิด การแพ้ภูมิ (Allergenic) และที่สำคัญคือ Trypsin inhibitor โดย Wolf และ Cown (1971) รายงานว่าสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน มีมากกว่า 5 ชนิด แต่ที่สกัดได้ในรูปบริสุทธิ์มีอยู่ 2 ชนิด คือ kunitz และ bowman-birk inhibitor และ Gertler *et al.* (1967) รายงานว่า kunitz มีอยู่ 1.4 เปอร์เซ็นต์ และ bowman-birk inhibitor มี 0.6 เปอร์เซ็นต์ การให้ความร้อนจะช่วยลด Trypsin inhibitor ได้ แต่ทั้งนี้การให้ความร้อนก็ควรคำนึงถึงคุณค่าของสารอาหารที่จะสูญเสียไป เพราะ หาก

มีการให้ความร้อนที่ให้อุ่นเกินไปจะทำให้คุณค่าของโภชนาเสียไปได้ โดยเฉพาะการใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนไลซีน ที่จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำได้ ดังเช่นการศึกษาของ Viola *et al.* (1983) ซึ่งได้ศึกษาผลของการให้ความร้อนกากถั่วเหลืองที่ 105 องศาเซลเซียสในระยะเวลาที่ต่างกัน คือ 0, 30, 120 และ 240 นาที และได้ศึกษาหา trypsin inhibitors และปริมาณกรดอะมิโนไลซีนในกากถั่วเหลือง โดยพบว่าค่า trypsin inhibitors ให้ค่าดังนี้ 100, 5.4, 0, และ 0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และค่าปริมาณกรดอะมิโนไลซีนที่ใช้ได้ ให้ค่าดังนี้ 6.0, 5.8, 5.45, 4.9 และ 4.1 g/16g N ตามลำดับ และจากนั้น Viola *et al.* (1983) ได้ทำการศึกษถึงการใช้อากถั่วเหลืองที่ให้ความร้อนในระยะเวลาต่างกันในปลาการ์ฟ พบว่าปลาการ์ฟที่ได้รับอาหารที่มีกากถั่วเหลืองไม่ผ่านความร้อนและให้ความร้อนที่ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาทีจะให้ผลการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่าปลาการ์ฟที่ให้อาหารที่มีกากถั่วเหลืองผ่านความร้อน 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 และ 120 นาที โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังนั้นในการนำกากถั่วเหลืองมาใช้ควรพิจารณาถึงคุณค่าทางโภชนาการเพื่อให้ได้กากถั่วเหลืองที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ โดยในทางการค้าได้แบ่งกากถั่วเหลืองที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันด้วยสารละลายอินทรีย์ (soybean meal solvent extracted) เป็นกากถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดน้ำมันด้วยสารละลายอินทรีย์ วิธีการนี้จะต้องใช้ความร้อนในกรรมวิธีการผลิต ผลพลอยได้ชนิดนี้จะต้องไม่มีสารพิษ หรือสารอื่นใดเจือปน และปริมาณเยื่อใยไม่เกินมาตรฐานกำหนด กากถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดน้ำมันทั้งเปลือก และเนื้อถั่วเหลือง มีโปรตีน 44 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.5-1.0 เปอร์เซ็นต์ มีเยื่อใยสูง ประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 5-6 เปอร์เซ็นต์
2. กากถั่วเหลืองจากการสกัดน้ำมันด้วยการหีบหรืออัด (soybean meal mechanical extracted) เป็นกากถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดน้ำมันด้วยวิธีหีบอัดทางกายภาพ โดยใช้ความร้อนในกรรมวิธีในการผลิต โปรตีนประมาณ 42 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 5-6 เปอร์เซ็นต์ มีเยื่อใยสูง 6-7 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 5-6 เปอร์เซ็นต์ ผลพลอยได้ชนิดนี้จะต้องไม่มีสารพิษหรือสารอื่นใดเจือปนอยู่เกินกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณเยื่อใยต้องไม่เกินมาตรฐานกำหนด
3. กากถั่วเหลืองกะเทาะเปลือกนอกออกแล้วสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ (soybean meal dehulled solvent extracted) เป็นกากถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดน้ำมันจากเมล็ดถั่วเหลืองที่เอาเปลือกนอกออกแล้วสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ และใช้ความร้อนในกรรมวิธีการผลิต เนื้อ

ถั่วเหลืองที่ได้ต้องไม่มีสิ่งเจือปน และปริมาณเชื้อไขไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด มีโปรตีน 46-48 เปอร์เซ็นต์ บางแหล่งมีโปรตีนสูงมาก 48-50 เปอร์เซ็นต์ เชื้อไขน้อย ประมาณ 3.5 เปอร์เซ็นต์ ถ้า 5-6 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าจะมีโปรตีนสูง แต่รูปแบบของกรดอะมิโนไม่แตกต่างกัน มีคุณค่าทางอาหารมากกว่ากากถั่วเหลืองไม่กะเทาะเปลือก 10-20 เปอร์เซ็นต์ โดยในตารางที่ 3 ได้เปรียบเทียบคุณค่าทางเคมีในปลาป่นและกากถั่วเหลืองในระดับเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่แตกต่างกัน



ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางโภชนาการของปลาป่น และกากถั่วเหลือง

ส่วนประกอบ (%)	ปลาป่น		กากถั่วเหลือง	
	60% โปรตีน	55% โปรตีน	48%โปรตีน	44%โปรตีน
โปรตีน	60	55	48.5	44
กรดอะมิโน				
arginine	3.52	3.22	3.51	3.8
histidine	1.26	1.15	1.22	1.11
isoleucine	2.59	2.37	2.4	2.17
leucine	4.19	3.84	3.37	3.39
lysine	4.57	4.15	3.02	2.73
methionine	1.57	1.44	0.66	0.59
phenyalanine+tyrosine	4.16	4	4.21	3.82
threonine	2.44	2.24	1.91	1.72
tryptophan	0.62	0.6	0.65	0.59
valine	2.95	2.7	2.47	2.24
ความชื้น	8	8	10	10
ไขมัน	10	8	1	1
เยื่อใย	0	1	3.5	7
เถ้า	19	26	6	6
คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ (NFE)	3	2	31	32
แร่ธาตุหลัก				
calcium	5	7.7	0.25	0.25
phosphorus	3	3.8	0.2	0.2
พลังงานที่ย่อยได้ในปลา	3,275	2,890	2,795	2,640

ที่มา: คัดแปลงจาก อรพินท์ (2553)

4.2.1 การศึกษาการใช้กากถั่วเหลืองในอาหารสัตว์น้ำ

Gallagher (1994) ได้ศึกษาการใช้กากถั่วเหลืองทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในอาหารปลา hybrid striped bass (*Morone saxatilis* X *M. chrysops*) อาหารมีระดับการทดแทน 0, 25, 50, 75 เปอร์เซ็นต์ และมีการเติมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนเพื่อให้มีในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของปลา และเท่ากันในทุกชุดการทดลอง ค่าโปรตีนในอาหาร 35 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักปลาเริ่มต้น 5 กรัม เลี้ยงเป็นเวลา 12 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าการใช้กากถั่วเหลืองทดแทนปลาป่นที่ระดับ 25 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่ไม่ใช้กากถั่วเหลือง

ธีระชัย และคณะ (2551) ได้ทดลองการใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในอาหารเลี้ยงปลาเทโพ ที่ระดับ 0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ อาหารทดลองมีโปรตีนในอาหาร 23 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานรวม (gross energy, GE) 430 กิโลแคลอรีต่ออาหาร 100 กรัม ผลการทดลองพบว่าปลาเทโพที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองทดแทนโปรตีนจากปลาป่น ที่ระดับ 0 และ 25 เปอร์เซ็นต์ มีค่าน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย และน้ำหนักเพิ่มต่อวัน มากกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับของการแทนที่โปรตีนจากปลาป่น 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และจากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าการใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในอาหารสำหรับเลี้ยงปลาเทโพที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลา

5. การใช้ประโยชน์อาหารของสัตว์น้ำ

อาหารเมื่อผ่านกระบวนการย่อย สารอาหารจะถูกดูดซึมและขนส่งโดยระบบไหลเวียนโลหิตไปใช้ประโยชน์ตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย โดยการใช้ประโยชน์สารอาหารแบ่งออกได้เป็น 3 ทาง คือ (1) ใช้ทันทีตามความต้องการของร่างกาย (2) ถูกเก็บไว้ใช้ในรูปเดิม (3) ถูกเก็บไว้สังเคราะห์สารประกอบอื่น

5.1 การใช้ประโยชน์โปรตีน

เมื่อกรดอะมิโนถูกดูดซึมและนำเข้าสู่กระแสโลหิตเพื่อส่งมายังตับแล้ว กรดอะมิโนจะถูกส่งออกจากตับเข้าสู่ระบบหมุนเวียนโลหิตไปยังเซลล์ต่างๆเพื่อสร้างหรือสังเคราะห์โปรตีนขึ้นทดแทนส่วนที่เสื่อมไป แต่อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์โปรตีนจะเกิดขึ้นได้ ก็ต่อเมื่อเซลล์ได้รับกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acids) ครบทุกชนิดในปริมาณที่เพียงพอ ถ้าขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นชนิดใดชนิดหนึ่งการสังเคราะห์โปรตีนจะไม่เกิดขึ้น กรดอะมิโนจะกลับเข้าสู่ตับ สลายตัว และถูกขับถ่ายออกจากร่างกาย โดยกระบวนการดีแอมมิเนชัน (deamination)

ร่างกายสัตว์น้ำไม่มีเซลล์พิเศษสำหรับสะสมกรดอะมิโนไว้จำนวนมาก กรดอะมิโนที่เกินความต้องการจะถูกนำไปใช้เป็นพลังงานโดยถูกส่งมาที่ตับ โดยตับจะแยกส่วนที่เป็นหมู่อะมิโนออกจากโมเลกุลแล้วเปลี่ยนสภาพผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆจนกลายเป็นแอมโมเนียแล้วถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ และส่วนของกรดอะมิโนที่เป็นคีโตที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสลายตัวให้พลังงานแก่ร่างกาย หรือสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนชนิดใหม่ในกระบวนการทรานส์แอมมิเนชัน (transamination) สารที่เกิดขึ้นใหม่จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

5.2 การใช้ประโยชน์คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตที่เข้าสู่ระบบไหลเวียนของเส้นเลือดดำในตับจะอยู่ในรูปโมโนแซคคาไรด์ ได้แก่ กลูโคส ฟรุคโตสและกาแลคโตส น้ำตาลเหล่านี้เมื่อถึงตับถ้าไม่ถูกนำไปใช้โดยตรง ก็จะถูกเซลล์ในตับแปรรูปเป็นน้ำตาลกลูโคสเพื่อส่งเข้าสู่ระบบไหลเวียนของเลือดไปเลี้ยงเซลล์ต่างๆ กลูโคสจะถูกใช้ในลักษณะต่างๆกัน แล้วแต่ความต้องการในขณะนั้น เช่น ถ้ามีความต้องการพลังงาน เซลล์ก็จะใช้กลูโคสเป็นพลังงานโดยตรงโดยกระบวนการเผาผลาญอาหารขั้นสุดท้าย กลูโคสที่เหลือใช้จะถูกเปลี่ยนเป็นไกลโคเจนเป็นพลังงานสำรอง แต่ร่างกายเก็บไว้ได้ไม่นาน เพราะไกลโคเจนมีขนาดใหญ่ กินเนื้อที่ ร่างกายจึงนำกลูโคสที่เหลือใช้ในการสังเคราะห์เป็นไขมันเพื่อเก็บเป็นพลังงานสำรอง และในกรณีที่จำเป็นเซลล์อาจนำกลูโคสมาสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นเพื่อใช้สำหรับการสังเคราะห์โปรตีนต่อไป

การใช้กลูโคสเป็นพลังงานอาจเกิดได้ 3 ทาง คือ (1) เป็นการใช้กลูโคสจากเลือดโดยตรง (2) ใช้กลูโคสที่ได้จากไกลโคเจนในตับ (3) ใช้พลังงานจากกรดไขมันอิสระที่สังเคราะห์จากกลูโคสเหลือใช้และเก็บสะสมไว้ในร่างกาย แต่ส่วนใหญ่แล้ว ร่างกายจะใช้พลังงานจากทางที่

สาม คือจากไขมันที่สะสมไว้ซึ่งร่างกายสังเคราะห์ได้จากคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนที่เหลือใช้ เพราะกลูโคสจากเลือดและไกลโคเจนในตับและกล้ามเนื้อมีไม่มาก

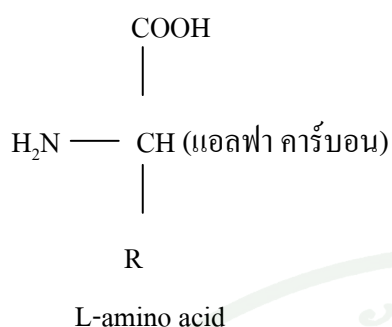
5.3 การใช้ประโยชน์ไขมัน

ไขมันที่มาจากอาหารหรือที่สะสมไว้ในเซลล์มักอยู่ในรูปไตรกลีเซอไรด์และฟอสโฟลิปิด เมื่อเซลล์ต้องการนำไปสลายเพื่อให้ได้พลังงานจำเป็นต้องมีเอนไซม์ภายในเซลล์เพื่อย่อยให้ได้เป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล โดยกลีเซอรอลที่ได้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการไกลโคไลซิสเพื่อให้ได้พลังงาน ส่วนกรดไขมันจะถูกนำไปเผาผลาญในกระบวนการเบตาออกซิเดชัน เพื่อให้ได้อะซิติลโคเอินไซม์เอ (acetyl CoA) ซึ่งเป็นสารเคมีที่ร่างกายสามารถนำไปสลายเป็นพลังงาน หรือนำไปสร้างสารต่างๆได้ เช่น กลูโคส หรือกรดอะมิโน

ปกติร่างกายจะใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต แต่ถ้าหากขาดคาร์โบไฮเดรตหรือไม่สามารถใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นพลังงานได้ ร่างกายจะใช้ไขมันเป็นพลังงานแทน แต่การใช้ไขมันเป็นพลังงานเพียงอย่างเดียวจะทำให้เกิดอะซิติลโคเอินไซม์มากเกินไป จะทำให้เกิดสารเคมี ketone body ซึ่งหากมีมากและค้างคั่งในกระแสโลหิตจะทำให้ร่างกายมีอาการผิดปกติ (เวียง2528)

6. โปรตีน และกรดอะมิโน

โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อน มีน้ำหนักโมเลกุลมาก เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต ซึ่งรวมทั้งสัตว์ พืช และ แบคทีเรีย โดยอาศัยโปรตีนในการสร้างเป็นโครงสร้างขึ้น เลือดของสัตว์มีโปรตีนอยู่หลายชนิด ทำหน้าที่ต่าง ๆ กัน ภายในเซลล์หนึ่งมีโปรตีนอยู่มาก และที่เยื่อหุ้มเซลล์มีโปรตีนเป็นโครงสร้างรวมอยู่กับลิพิด เมื่อคิดเป็นวัตถุแห้งประมาณ 50% ของสารอื่นทั้งหมด โปรตีนมีความสำคัญมากเป็นอันดับหนึ่ง โดยกรดอะมิโนเป็นสารโครงสร้างหลักของโปรตีน เรียงต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์ โปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโน 20-22 ชนิด กรดอะมิโนในสิ่งมีชีวิตแทบทั้งหมด เป็นประเภทแอลฟา คือ มี amino group ($-NH_2$) อยู่ที่แอลฟาคาร์บอน อยู่ถัดจาก carboxyl group ($-COOH$) (ศรีสกุล และรณชัย, 2539) สูตรทั่วไปดังนี้



ภาพที่ 3 สูตรโครงสร้างกรดอะมิโน

ที่มา: ศรีสกุล และธรรณชัย (2539)

ในร่างกายสัตว์รวมทั้งสัตว์น้ำไม่มีเซลล์พิเศษสำหรับสะสมกรดอะมิโนไว้เป็นจำนวนมาก เหมือนกับเซลล์เก็บไขมันหรือคาร์โบไฮเดรตในรูปไกลโคเจนโดยร่างกายจะเก็บไว้ได้บ้างเล็กน้อย ในยามฉุกเฉิน โปรตีนที่ร่างกายเก็บไว้ได้เพียงเล็กน้อยนี้เรียกว่าเลบายโปรตีน (labile protein) ซึ่งเก็บไว้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักโปรตีนที่มีทั้งหมดในร่างกาย เซลล์ในร่างกายจำเป็นต้องใช้โปรตีนอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเพื่อให้มีเลบายโปรตีนอยู่เสมอ ร่างกายจึงต้องได้รับโปรตีนจากอาหารอย่างต่อเนื่อง (เวียง, 2528)

6.1 แหล่งของโปรตีน

แหล่งของโปรตีน (Crude Protein) ถูกแบ่งออกเป็น 5 แหล่งใหญ่ๆ คือ

1. โปรตีนจากพืช เป็นผลพลอยได้จากการนำเอาเมล็ดพืชไปผ่านขบวนการผลิต ส่วนที่เหลือจะเรียกเป็นกากของพืชชนิดนั้นๆ เช่น กากถั่วเหลือง กากฟ้าย กากนุ่น กากถั่วลิสง กากมะพร้าว กระถินป่น เป็นต้น
2. โปรตีนจากสัตว์ เป็นผลพลอยได้จากผลผลิตของสัตว์ที่มนุษย์ไม่บริโภค เช่น หางนม ขนไก่ป่น เนื้อกระดูกป่น เลือดป่น ปลาป่น หัวกุ้งป่น เป็นต้น
3. Single cell Protein ปัจจุบันมีการนำมาใช้บ้างแล้ว โดยส่วนใหญ่จะเน้นถึงว่ามีสาร UGF (Unknown growth factor) มากกว่าจะเน้นว่าเป็นแหล่งของโปรตีน เนื่องจากมีราคาแพง

4. Non protein Nitrogen (NPN) ในสัตว์สี่กระเพาะเท่านั้นที่มีความสามารถที่จะนำ NPN มาใช้ เนื่องจากแบคทีเรียในกระเพาะสามารถจะนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ สัตว์สี่กระเพาะนั้นๆ ก็จะได้รับประโยชน์จากการสังเคราะห์ของแบคทีเรียอีกต่อหนึ่ง เช่น ยูเรีย ซึ่งมีไนโตรเจนประมาณ 42-47% หรือเทียบเท่ากับโปรตีน เป็น 262-292%

5. Synthetic amino acid ในวงการอุตสาหกรรมสัตว์มีการนำเอา Amino acid สังเคราะห์มาใช้ 4 ตัว คือ L-Lysine hydrochloride, Threonine, Tryptophane และ DL-Methionine ซึ่งมีราคาถูก การใช้ Synthetic amino acid สัตว์สามารถจะนำไปใช้ได้ทันที

6.2 กระบวนการเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโน (Amino Acid Metabolism)

โปรตีนเมื่อถูกย่อยจะได้กรดอะมิโนต่างๆเป็นจำนวนมาก เซลล์เนื้อเยื่อโดยทั่วไปจะมีการสังเคราะห์โปรตีนจากกรดอะมิโน เพื่อเก็บไว้ในเซลล์ และมีบางส่วนที่ถูกขับออกสู่กระแสเลือด เพื่อไปทำหน้าที่ต่างๆกัน เช่น ในเซลล์ของตับ โปรตีนที่ถูกสร้างขึ้นประมาณครึ่งหนึ่งจะถูกเก็บไว้ที่ตับ (Liver protein) ส่วนอีกครึ่งหนึ่งอยู่ในพลาสมา (Plasma protein) ซึ่งอาจไปทำหน้าที่เป็นฮอร์โมนหรือเอนไซม์ก็ได้ โปรตีนทุกชนิดในร่างกาย จะมีการสลายกรดอะมิโน และถูกสังเคราะห์ขึ้นใหม่ตลอดเวลา ในกรณีที่ร่างกายขาดแคลนโภชนาที่จะให้พลังงานตามปกติ เช่น ขาดสารพวกคาร์โบไฮเดรต และไขมัน กรดอะมิโนจะถูกเผาผลาญเพื่อให้ได้พลังงานมาชดเชย ทำให้เกิดกระบวนการ catabolism ของกรดอะมิโนมากขึ้น

6.3 การควบคุมการเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโน

เมื่อเซลล์มีพลังงานเหลือใช้และมีสารอาหารอื่นๆเพียงพอต่อการสังเคราะห์กรดอะมิโนต่างๆ จะเกิดการสร้างอะมิโน หรือโปรตีนมากกว่าการสลาย ดังนั้น การควบคุมเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโนส่วนใหญ่ จึงเป็นการควบคุมการสังเคราะห์กรดอะมิโนนั่นเองเป็นวิธีการควบคุมการสังเคราะห์แบบย้อนกลับ การควบคุมแบบนี้เกิดจากกรดอะมิโนบางชนิดที่สังเคราะห์ได้ไปยับยั้งเอนไซม์ที่ใช้สังเคราะห์กรดอะมิโน (ศรีสกุล และธณชัย, 2539)

6.4 กระบวนการสังเคราะห์กรดอะมิโน (biosynthesis of amino acid)

เนื่องจากโปรตีนในร่างกายมีการทำลาย และสร้างขึ้นทดแทนตลอดเวลา ดังนั้น

กรดอะมิโนก็เช่นกัน มีการทำลายและสร้างขึ้นใหม่ เพื่อให้มีทั้งชนิดและปริมาณที่สอดคล้องกับความต้องการของร่างกาย ปกติกรดอะมิโนที่ใช้ในขบวนการเมแทบอลิซึมส่วนใหญ่ได้จากอาหารโปรตีน แต่ในบางครั้งอาจมีปริมาณและชนิดไม่เพียงพอ ร่างกายจึงต้องมีการปรับหรือควบคุมเมแทบอลิซึมของร่างกายให้อยู่ในสภาวะปกติ

ร่างกายสัตว์สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนจากสารประกอบง่ายๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารตัวกลางในกระบวนการ glycolysis และ Krebs cycle หรือจากกรดอะมิโนที่จำเป็น ได้ประมาณ 10 ชนิด เรียกว่ากรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (non-essential amino acids หรือ dispensable amino acid) ซึ่งพบว่ากรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นนี้เป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อโปรตีนมากถึง 40% แต่ในสภาพปกติไม่จำเป็นต้องสังเคราะห์เองทั้งหมด เพราะได้จากอาหารเป็นปริมาณมากด้วย ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น และสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์

กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น	สารตั้งต้นและวิธีการสังเคราะห์
Glutamic	Ketoglutarate + NH_4^+ (amination)
Glutamine	Glutamic + NH_4^+ (amination)
Alanine	Glutamic + pyruvate (transamination)
Aspartic	Glutamic + oxaloacetate (transamination)
Serine	phosphoglycerate + glutamate (transamination)
Proline	Glutamic- NH_2 (dehydration)
Asparagine	Aspartic + NH_4^+ (amination)
Glycine	CO_2 + NH_4
Serine	From glycine and vice versa
Tyrosine	Hydroxylation of phenylalanine
Cystine	Methionine + serine

ที่มา: ศรีสกุล และธรรณชัย (2539)

6.5 การดูดซึมของโปรตีน

โปรตีนจะถูกย่อยจนได้เปปไทด์ และกรดอะมิโนอิสระ (free amino acid) กรดอะมิโนจะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบเส้นเลือดดำของผนังลำไส้เล็กโดยวิธีแบบต้านกระแสความเข้มข้น (sodium-dependent active transport) โดยมีโซเดียม (Na^+) และวิตามินบี6 เป็นตัวพาเข้าสู่เซลล์ตับ กรดอะมิโนที่ถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็ก แบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ

- Mono amino-mono carboxylic หรือ neutral amino acids ได้แก่ methionine, phenylalanine, leucine, Isoleucine, valine
- Basic amino acids ได้แก่ arginine และ lysine รวมทั้ง histidine
- Dicarboxylic acids หรือ Acidic amino acids ได้แก่ aspartic, glutamic

การดูดซึมของกรดอะมิโนแต่ละชนิดที่บริเวณลำไส้จะมีการแข่งขันกัน โดยเฉพาะกรดอะมิโนที่มีโครงสร้างคล้ายกัน พบว่า กรดอะมิโนชนิดหนึ่งสามารถยับยั้งการดูดซึมของกรดอะมิโนอีกชนิดหนึ่งโดยการแข่งขัน (competitive inhibition) เช่น L-valine และ L-methionine จะเป็นตัวยับยั้งการดูดซึม L-leucine (อรพินท์, 2553)

กรดอะมิโน $\longrightarrow$ หลอดเลือดฝอยของลำไส้เล็ก $\longrightarrow$ ตับ $\longrightarrow$ หัวใจ
 $\longrightarrow$ ไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกาย

6.6 กระบวนการ gluconeogenesis

ในกรณีที่สัตว์อดอาหารหรือได้รับคาร์โบไฮเดรตต่ำ ร่างกายจะปล่อยไกลโคเจนที่สะสมในกล้ามเนื้อและตับ ออกมาในรูปของกลูโคส และถ้ายังไม่พอเพียงแก่การรักษาปริมาณกลูโคสในเลือดให้ปกติได้ จำเป็นจะต้องเปลี่ยนกรดอะมิโนให้เป็นกลูโคส ซึ่งอยู่ในการควบคุมของฮอร์โมน glucocorticoid ที่หลั่งจาก adrenal gland แต่กรดอะมิโนไม่ทุกตัวที่จะเปลี่ยนเป็นกลูโคสได้ เพราะในการเปลี่ยนรูปเป็นกลูโคสต้องอาศัยกระบวนการ degradation ให้กรดอะมิโนเปลี่ยนเป็นสารสุดท้าย ก่อนเข้ากระบวนการเปลี่ยนเป็นกลูโคสอีกครั้ง ซึ่งสารสุดท้ายจะเป็นตัวบอกชนิดของกรดอะมิโนว่าจะเปลี่ยนไปเป็นกลูโคสได้หรือไม่ (ศรีสกุล และธณชัย, 2539)

6.7 การเปลี่ยนรูปของกรดอะมิโนเป็นสารอื่นๆ (formation of other metabolites)

กรดอะมิโนบางตัวสามารถเปลี่ยนเป็นสารอื่นๆที่ร่างกายมีความต้องการ ซึ่งมีดังนี้

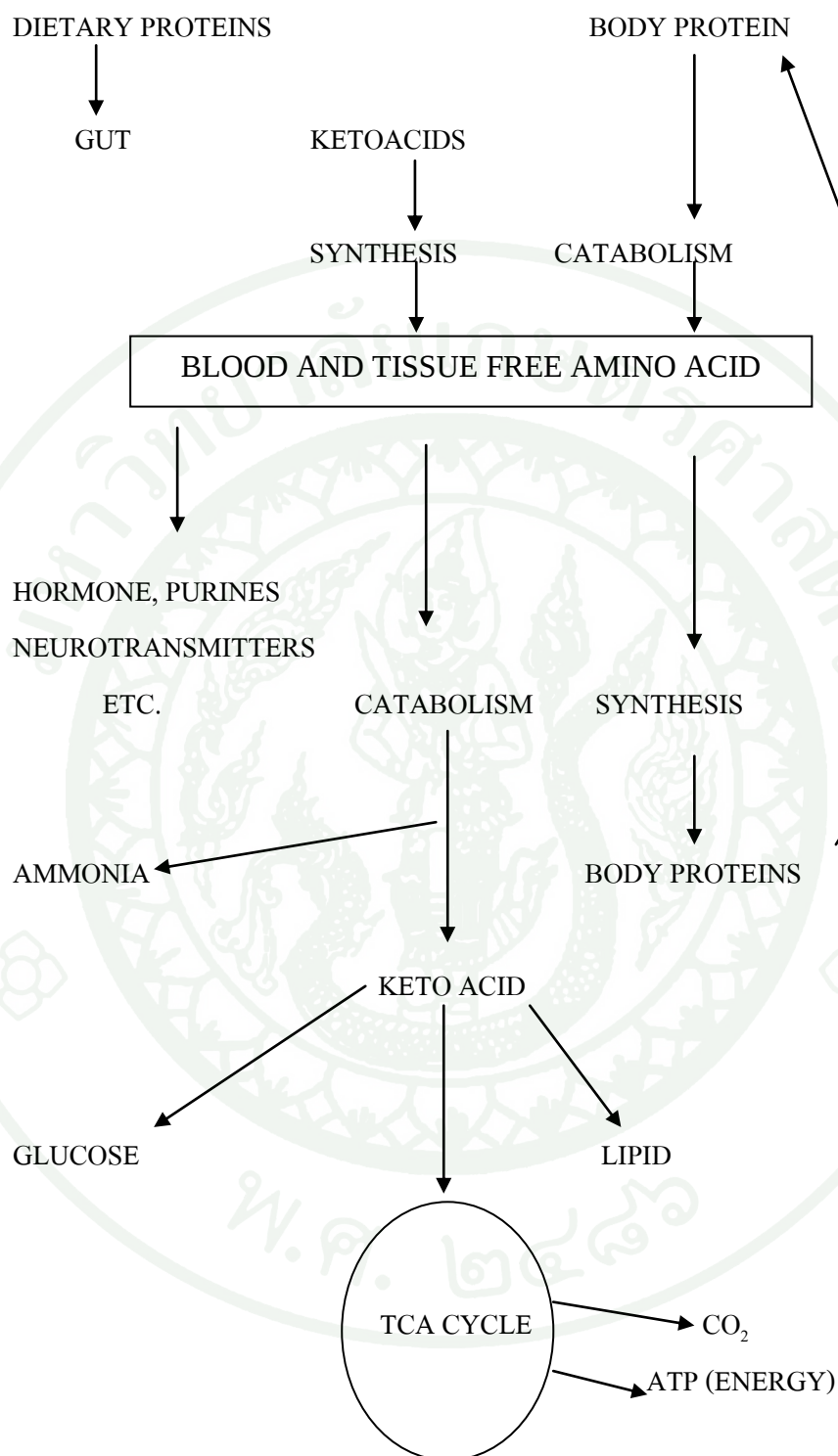
1. Methionine : homocysteine, cysteine, choline, carnitine
2. Cysteine : glutathione และ taurine
3. Arginine : ornithine, creatine, urea
4. Histidine : histamine
5. Lysine : carnitine และ desmosine
6. Phenylalanine และ tyrosine : thyroxine, Adrenaline, dopamine, melanin

pigments

กระบวนการ amino acid degradation คือ กรดอะมิโนที่มากเกินไปความต้องการในการใช้สังเคราะห์โปรตีน จะมีการเปลี่ยนรูปไป ในโตรเจนที่ได้จากการเปลี่ยนรูปกรดอะมิโนในรูป NH_3 , urea และ uric acid ส่วนโครงสร้างของคาร์บอนจะไปได้ 3 ทาง คือ

1. ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์กลูโคส
2. เปลี่ยนเป็นไขมัน

3. เปลี่ยนเป็นน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และพลังงาน ถ้าอาหารมีโปรตีนสูงมากขึ้น จะทำให้กรดอะมิโนสลาย หรือเปลี่ยนรูปมากขึ้นด้วยเป็นผลอย่างหนึ่งที่ทำให้โปรตีนที่กินเข้าไป ใช้ประโยชน์ไม่ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ กรดอะมิโนในแต่ละตัวจะมี path way เฉพาะที่จะเกิด degradation และ path way เหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับกรดอะมิโนในอาหาร เมื่อระดับโปรตีนในอาหารต่ำ เอนไซม์ที่เร่งการสลายก็จะต่ำด้วย ระดับโปรตีนในอาหารสูงจะช่วยให้มีเอนไซม์ดังกล่าวมากขึ้น การปรับนี้ช่วยรักษากรดอะมิโนเมื่ออาหารมีระดับโปรตีนต่ำ



ภาพที่ 4 แผนภาพเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโน

ที่มา: Cowey and Walton (1989)

6.8 ความสำคัญของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนและไลซีนในอาหาร

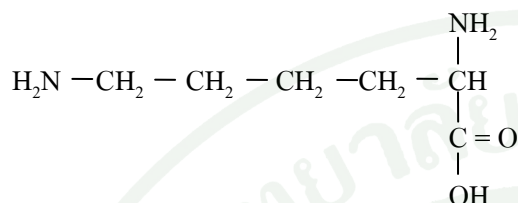
การขาดกรดอะมิโนชนิดใดชนิดหนึ่งมีผลทำให้การสร้างโปรตีนเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ดังนั้นในอาหารจึงควรมีกรดอะมิโนที่ครบถ้วน โดยเฉพาะกรดอะมิโนจำเป็นซึ่งร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้หรือสังเคราะห์ได้แต่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย จำเป็น ต้องได้รับทางอาหารที่กิน โดยเฉพาะกรดอะมิโนไลซีน และเมทไธโอนีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็น กรดอะมิโนไลซีนเป็นกรดอะมิโนที่เป็นสารตั้งต้นในการผลิตคาร์นิทีน ซึ่งเป็นสารที่ร่างกายมีความต้องการ โดยทั่วไปจะถูกสร้างในบริเวณตับ และนำไปเก็บไว้ในกล้ามเนื้อลาย คาร์นิทีนจะนำกรดไขมันสายยาวไปยังไม่โคคอนเดรียและจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการเบต้าออกซิเดชันเปลี่ยนไขมันมาเป็นพลังงาน (Walton *et al.*, 1984) และนอกจากนั้นไลซีนมีส่วนช่วยในการสังเคราะห์คอลลาเจน เพราะไฮดรอกซีไลซีนและไฮดรอกซีโพรลีนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของกระบวนการเมแทบอลิซึมไลซีน และโพรลีน ซึ่งทั้งสองเป็นสารสำคัญในการสร้างคอลลาเจน (Sandell and Daniel, 1988) ไลซีนมีจำกัดในอาหารที่มีการใช้โปรตีนจากพืชเป็นแหล่งโปรตีนหลัก (Hauler and Carter, 2001) การขาดกรดอะมิโนไลซีนในอาหารสัตว์ จะทำให้ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำ คุณภาพซากไม่ดี กรดอะมิโนเมทไธโอนีนเป็นกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ มีบทบาทสำคัญ เช่น เป็นองค์ประกอบในร่างกาย ระบบภูมิคุ้มกัน ระบบสืบพันธุ์ เมทาบอลิซึมของเนื้อเยื่อ การกำจัดสารพิษ เป็นตัวให้หมู่เมธิล ($-CH_3$) ในกระบวนการ Transmethylation ต่างๆ เป็นสารสำคัญในการสังเคราะห์สารประกอบอื่นๆอีกหลายชนิด เช่น ฮีโมซิสเตอิน ซีสเตอิน คาร์นิทีน ทอรีน ครีเอติน โคลีน เลซิธิน ฟอสฟาติดีลโคลีน และเลเซฟอสโฟลิปิด หากสารประกอบเหล่านี้มีสัดส่วนไม่สมดุลกับความต้องการของร่างกายจะส่งผลให้กระบวนการเมทาบอลิซึมของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนผิดปกติ และส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ได้ การเสริมดีแอล-เมทไธโอนีน และดีแอลเมทไธโอนีนไฮดรอกซีอะนาลอก จะทำให้สมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากในไก่กระตังเพศผู้ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รัชฎาภรณ์, 2549) ไก่กระตังที่ได้รับอาหารที่ขาดเมทไธโอนีนจะมีการสังเคราะห์โปรตีนลดลง (Hiramoto *et al.*, 1990) กรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่น เมทไธโอนีน ซีสติน ซีสเตอินทอรีน และกลูตาไธโอน จะมีความสำคัญในการฆ่าเชื้อโรคในเลือด ป้องกันแบคทีเรีย และต่อต้านการสร้างสารพิษ (Scott *et al.*, 1982 และ Baker and Czarnecki, 1985) และที่สำคัญกรดอะมิโนเมทไธโอนีนจะเป็นกรดอะมิโนตัวแรกที่ใช้เป็นรหัสของ codon เริ่มต้นในการสังเคราะห์โปรตีนบนสาย RNA

ตัวอย่างการเปลี่ยนรหัสพันธุกรรมหรือลำดับเบสบน mRNA มาเป็นลำดับกรดอะมิโนในโปรตีน

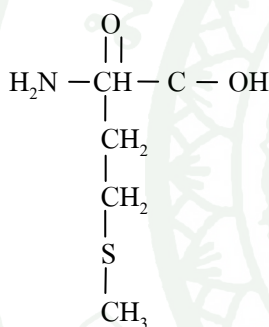
5' — AUG UUU CUA AUC ACC AAA GAU GGG UAA — 3' mRNA

NH₂ - Met - Phe - Leu - Ile - Thr - Lys - Asp - Gly - COOH Peptide

(พรงาม, 2545)



ภาพที่ 5 สูตรโครงสร้างกรดอะมิโนไลซีน



ภาพที่ 6 สูตรโครงสร้างกรดอะมิโนเมทไธโอนีน

6.9 ความต้องการกรดอะมิโนของสัตว์

สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนได้ทุกชนิด ซึ่งกรดอะมิโนที่ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นมาได้จากสัตว์เอง จำเป็นต้องเสริมลงในอาหาร ซึ่งเรียกรดอะมิโนเหล่านี้ว่า กรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acids) มีอยู่ 10 ตัว เนื่องจากกรดอะมิโนบางตัว สัตว์บางชนิดสามารถสร้างได้แต่ไม่พอเพียง และกรดอะมิโนที่สัตว์สามารถสร้างได้เองอย่างพอเพียง ไม่จำเป็นต้องเสริมในอาหารเรียกว่า กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (non essential amino acid) โดย ศรีสกุล และธณชัย (2539) ได้รายงานชนิดกรดอะมิโนดังแสดงในตารางที่ 5 โดยสัตว์น้ำแต่ละชนิดจะมีความต้องการกรดอะมิโนในระดับที่แตกต่างกัน โดย Cowey, (1992) ได้รายงานถึงค่าความต้องการกรดอะมิโนตามชนิดของปลา ดังตารางที่ 6 และ 7

ตารางที่ 5 ชนิดกรดอะมิโนจำเป็นและไม่จำเป็น

กรดอะมิโนจำเป็น	กรดอะมิโนไม่จำเป็น
Arginine	Alanine
Lysine	Aspartic acid
Histidine	Asparagine
Leucine	Glutamic acid
Isoleucine	Glutamine
Valine	Tyrosine
Methionine	Glycine
Threonine	Serine
Tryptophan	Proline
Phenylalanine	Cystine
	Hydroxyproline
	Hydroxylysine

ที่มา: ศรีสกุล และรัชช (2539)

ตารางที่ 6 ปริมาณความต้องการกรดอะมิโนในปลา

ส่วนประกอบในอาหารแห้ง (%)	ปลา		
	Channel catfish	Chinook salmon	Common carp
โปรตีน	24	40	38.5
Arginine	1	2.4	1.7
Methionine+cystine	0.6	1.6	1.2
Tryptophan	0.12	0.2	0.3
Phenylalanine+tyrosine	1.2	2.1	2.5
Lysine	1.2	2	2.2
Threonine	0.48	0.9	1.5

ที่มา: Cowey (1994)

ตารางที่ 7 ปริมาณความต้องการกรดอะมิโนของปลาในโปรตีน (100%)

กรดอะมิโน (100 % โปรตีน)	ปลา		
	Channel catfish	Chinook salmon	Common carp
Arginine	4.3	6	4.3
Methionine+cystine	2.3	4	3.1
Tryptophan	0.5	0.5	0.8
Phenylalanine+tyrosine	5	5.1	6.5
Lysine	5.1	5	5.7
Threonine	2	2.2	3.9

ที่มา: Cowey (1994)

7. การศึกษาการใช้โปรตีน และกรดอะมิโนในอาหารสัตว์น้ำ

วิลล และคณะ (2535) ได้ศึกษาถึงการเจริญเติบโต และไขมันสะสมในปลาสาวยขนาด 7 กรัม ที่เลี้ยงด้วยอาหารระดับโปรตีนต่างกัน คือ 16%, 20%, 24%, 28%, และ 29% และพลังงานที่ข่อยได้ คงที่เท่ากับ 280 (270-298) พบว่าที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีนระหว่าง 28-29 เปอร์เซ็นต์ จะให้ผลการเจริญเติบโตดีที่สุด โดยอาหารแต่ละสูตรมีผลทำให้ปลามีไขมันระหว่าง 8-10% พลังงานที่ข่อยได้มีค่าระหว่าง 271-298 กิโลแคลอรี/อาหาร 100 กรัม นับว่าเป็นระดับพลังงานที่เหมาะสมในอาหารปลาสาวย

สมศรี และคณะ (2551) ทำการทดลองเลี้ยงปลาโม่งขนาดเริ่มต้น 116 กรัม ด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 เปอร์เซ็นต์ มีพลังงานที่ข่อยได้ 300 กิโลแคลอรีต่ออาหาร 100 กรัม ในตู้กระจก ทดลองเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าระดับโปรตีน 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของปลาโม่งขนาดกลาง

ศุภรัตน์ และคณะ (2541) ทดลองความต้องการโปรตีนในอาหารของปลาเทโพขนาดเฉลี่ย 138-352 กรัม โดยใช้ระดับโปรตีน 15, 20, 25, 30 และ 35 เปอร์เซ็นต์ และผลการทดลองสรุปได้ว่า

โปรตีนระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับต่ำสุดที่ทำให้ปลามีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนสูงกว่า ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีโปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราแลกเนื้อต่ำสุด

Gaye- Siessegger *et al.* (2007) ได้ศึกษาผลของกรดอะมิโนไม่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการเมแทบอลิซึมของปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ขนาดเริ่มการทดลอง 13.6 กรัม โดยเลี้ยงปลานิลเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ด้วยอาหารทดลอง 3 สูตร คือ สูตรที่ 1 เป็นสูตรควบคุมที่มีการเสริมทั้งกรดอะมิโนจำเป็น และไม่จำเป็นในอาหารทั้ง 18 ชนิด สูตรที่ 2 มีการเสริมกรดอะมิโนจำเป็น 8 ชนิด และเสริมกรดอะมิโนไม่จำเป็นเพียง 4 ชนิด คือ cysteine, glycine, proline, และ tyrosine และสูตรที่ 3 มีการเสริมกรดอะมิโนจำเป็น 8 ชนิด และเสริมกรดอะมิโนไม่จำเป็นเพียง 1 ชนิดคือ Glutamate แต่เติม Glutamate ในปริมาณที่สูงกว่ากรดอะมิโนชนิดอื่นๆ คือ 15.2 กรัม/อาหาร 100 กรัม เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การพัฒนาของน้ำหนักปลาที่เพิ่มในอาหารสูตรที่ 3 จะน้อยกว่ากลุ่มอื่นๆ และเมื่อศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ alanine amino transferase (ALAT) และ aspartate aminotransferase (ASAT) ในตับปลา พบว่า การทำงานของ ASAT ในสูตรที่มีความสมดุลของโปรตีน (สูตรควบคุม) จะให้ค่าสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ จากการศึกษาทดลองในครั้งนี้ ชี้ให้เห็นความสำคัญของกรดอะมิโนชนิดไม่จำเป็นจะมีผลต่อการเจริญเติบโตต่อปลา การเติมในอาหารเพื่อให้มีความสมดุลของกรดอะมิโนจะสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตในปลานิลดีกว่าอาหารที่ไม่ได้เติม

8. การศึกษาการใช้กากถั่วเหลือง กรดอะมิโนเมทไธนีนและไลซีนในปลา

ได้มีรายงานการศึกษาถึงการนำกากถั่วเหลืองมาใช้เป็นโปรตีนหลักเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในการเลี้ยงปลาต่างๆ ดังนี้

Webster *et al.* (1992) ได้ศึกษาการใช้กากถั่วเหลืองและ DDGS ทดแทนปลาป่นใน channel catfish, *Ictalurus punctatus* ขนาด 11 กรัม โดยมีอาหาร 5 ชุดการทดลอง คือ มีการใช้ปลาป่นในระดับ 12, 8, 4, 0 % และ 0 % เสริมกรดอะมิโน L-lysine และ L-methionine เพื่อให้มีในปริมาณที่เท่ากับอาหารทดลองชุดอื่นๆ เลี้ยงเป็นเวลา 12 สัปดาห์ สิ้นสุดการทดลองพบว่า ผลการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และอัตราแลกเนื้อไม่มีความแตกต่างทางสถิติในอาหารทุกสูตรการทดลอง

Kaushik *et al.*(1995) ทดลองเลี้ยงปลา rainbow trout โดยใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองทดแทนโปรตีนจากปลาป่น ที่ระดับ 0, 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในอาหาร และมีการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนเพื่อให้มีปริมาณที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า น้ำหนักสุดท้าย การเจริญเติบโตต่อวัน ประสิทธิภาพการนำอาหารไปใช้ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในอาหารไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ในทุกชุดการทดลอง

Zarate and Lovell (1997) ได้ศึกษาผลของการเติมกรดอะมิโนไลซีนในอาหารปลา channel catfish มีน้ำหนักเริ่มต้น 3.7 กรัม มีระดับโปรตีนในอาหาร 26 เปอร์เซ็นต์ และมีการเติมกรดอะมิโนไลซีนในระดับที่ต่างกัน เลี้ยงเป็นเวลา 10 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าชุดการทดลองที่ใช้กากถั่วเหลืองผสมในอาหารและมีการเติมกรดอะมิโนไลซีนมากกว่าชุดการทดลองอื่นๆ คือมีค่าไลซีน 1.27 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการเจริญเติบโตที่สูงกว่าชุดการทดลองที่ใช้กากถั่วลิสงรวมกับกากข้าวโพดและมีการเติมอะมิโนไลซีนที่ต่ำกว่า

Saidy and Gaber (2002) ได้ศึกษาการใช้กากถั่วเหลืองทดแทนปลาป่น 100 เปอร์เซ็นต์ ในปลานิลที่ให้ระดับโปรตีนในอาหาร 33.2 เปอร์เซ็นต์ พลังงานรวม 4.8 กิโลแคลอรี/อาหาร 1 กรัม อาหารชุดควบคุมใช้ปลาป่น 20 เปอร์เซ็นต์ กากถั่วเหลือง 30 เปอร์เซ็นต์ และชุดการทดลองที่ 2-5 ใช้กากถั่วเหลือง 55, 54, 53 และ 52 เปอร์เซ็นต์ และเติมกรดอะมิโนไลซีน 0.5, 1.0, 1.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เลี้ยงปลาเป็นเวลา 10 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ในชุดการทดลองที่ 2 ให้ผลการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ในอาหารที่ดีกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

Deng *et al.* (2006) ได้ศึกษาเลี้ยงปลา Japanese Flounder โดยใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองทดแทนโปรตีนจากปลาป่น โดยมีการทดแทนที่ระดับ 0, 25, 50, 75, 75 (เสริมกรดอะมิโน), 87.5 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในอาหาร เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า น้ำหนักสุดท้าย ประสิทธิภาพการนำอาหารไปใช้ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในอาหารในชุดการทดลองที่มีการทดแทน 75 เปอร์เซ็นต์ (เสริมกรดอะมิโน) ให้ค่าที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ทดแทน 75 เปอร์เซ็นต์แต่ไม่เสริมกรดอะมิโน แต่ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ทดแทนโปรตีนจากกากถั่วเหลืองที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์

9. การย่อยอาหารของปลา

การย่อยอาหารของปลาเป็นกระบวนการที่อาหารในท่อทางเดินอาหารถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงเพื่อดูดซึมเข้าผนังทางเดินอาหารไปในเส้นเลือด โดยโปรตีนจะถูกย่อยเป็นกรดอะมิโน ไขมันจะถูกย่อยเป็นกรดไขมันและกลีเซอริน คาร์โบไฮเดรตถูกย่อยเป็นน้ำตาล กระบวนการเหล่านี้มีเอนไซม์ย่อยอาหารมาทำหน้าที่ย่อยอาหารให้เล็กลง เพื่อนำไปเผาผลาญให้ได้พลังงานต่อไป การย่อยอาหารของปลาเกิดขึ้นที่กระเพาะอาหารหรือลำไส้เท่านั้น เนื่องจากมีเอนไซม์ย่อยอาหารอยู่ (วีรพงศ์, 2536)

เอนไซม์เป็นโปรตีนกลุ่มหนึ่งที่มีหน้าที่พิเศษแตกต่างจากโปรตีนทั่วไป คือ มีความสามารถเร่งปฏิกิริยาในสิ่งมีชีวิตได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวเร่งสังเคราะห์เป็นหลายล้านเท่าด้วยปริมาณเอนไซม์เพียงระดับไมโครโมลาร์ และสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ภายใต้ภาวะไม่รุนแรง ซึ่งเหมาะสมกับภาวะภายในเซลล์ และเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตทั่วไป โดยสิ่งมีชีวิตมีกระบวนการต่างๆ ที่มีเอนไซม์เป็นส่วนประกอบทั้งสิ้น เช่น การสังเคราะห์อาหาร ย่อยสลายสารอาหาร การสร้างพลังงาน (ปราณี, 2527)

9.1 เอนไซม์ย่อยโปรตีน (proteases)

เป็นเอนไซม์ที่พบในกระเพาะอาหารและบริเวณลำไส้ เช่น เปปซิน มีประสิทธิภาพในการย่อยได้ดีในสภาพที่เป็นกรด และพบว่าในปลา หากยังไม่มีภารกิจินอาหารก็จะยังไม่มีกรหลั่งกรดเกลือ ทำให้กระเพาะปลามีสภาพเป็นกลาง แต่เมื่อปลากินอาหารจะมีการหลั่งกรดเกลือ ทำให้กระเพาะมีสภาพเป็นกรดอย่างรวดเร็ว และเมื่อเสร็จสิ้นการย่อยอาหารก็จะมีสภาพเป็นกลางดังเดิม (วีรพงศ์, 2536) โดย Lin *et al.* (2011) ได้รายงานเอนไซม์ protease ในลำไส้เล็ก และตับ มีค่าลดลง เมื่อเพิ่มระดับการทดแทนปลาป่นด้วยกากถั่วเหลืองในอาหารปลานิล ซึ่งมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลามีค่าลดลง และอัตราการแลกเนื้อสูง และยังสอดคล้องกับการศึกษาในปลา Atlantic cod (Lemieux *et al.*, 1999) และ Atlantic salmon (Krogdahl *et al.*, 2003) ดังนั้นได้มีการแนะนำให้เอนไซม์มาใช้ในอาหารที่มีระดับการใช้กากถั่วเหลืองสูง ดังการศึกษาของ รุ่งกานต์ (2552) พบว่าการเติมเอนไซม์ protease 0.02 U ในอาหารปลานิลที่มีระดับการทดแทนโปรตีนด้วยกากถั่วเหลือง 75 เปอร์เซ็นต์ จะให้การเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่ใช้โปรตีนจากปลาป่น แต่ให้การเจริญเติบโตที่ดีกว่าปลาที่ให้อาหารที่ทดแทนโปรตีนด้วย

กากถั่วเหลือง 75 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีการเติมเอนไซม์ protease อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ทั้งนี้ผลของการศึกษาอาจจะให้ค่าที่แตกต่างกัน เพราะปลาแต่ละชนิดก็มีความแตกต่างในการทำงานของเอนไซม์แตกต่างกัน

9.2 เอนไซม์ย่อยไขมัน (lipase)

เอนไซม์ย่อยไขมัน เป็นแบบ extracellular hydrolysis เกิดขึ้นตลอดทางเดินอาหารปลา ตั้งแต่ในกระเพาะ ลำไส้ และ cecal lumen เอนไซม์ที่พบส่วนใหญ่จะเป็น lipase ซึ่งจะย่อยไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมัน เอสเทอร์จะย่อยเอสเทอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อย โดยเอนไซม์เหล่านี้จะได้มาจากการหลั่งของผนังลำไส้และตับอ่อน lipase จะทำงานร่วมกับน้ำดีทำหน้าที่ร่วมกันย่อยไขมัน ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ในกระเพาะอาหารต่ำกว่าลำไส้ เนื่องจากกระเพาะอาหารมีสภาพพีเอชเป็นกรดต่ำมาก มีหน้าที่เพียงบดผสมไขมันเพื่อส่งเข้าลำไส้เพื่อให้มีการย่อยที่สมบูรณ์ต่อไป (วีรพงศ์, 2536)

9.3 เอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรต (carbohydrases)

ในปลาจะมีแอลฟา อะไมเลส เป็นเอนไซม์สำคัญในการย่อยคาร์โบไฮเดรตให้เป็น กลูโคส และมอลโตส เอนไซม์อะไมเลสของปลากินพืช และปลากินเนื้อส่วนใหญ่ได้จากการหลั่งของผนังลำไส้ ผนังกระเพาะอาหาร ตับ ตับอ่อน และไพโลริกซีกา ในขณะที่ปลากินเนื้อจะหลั่งมาจากตับอ่อนเพียงแห่งเดียว ทำให้ปลากินเนื้อมีประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าปลากินพืช

เอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรตที่พบในกระเพาะอาหารและลำไส้ ยังมีเอนไซม์ glucosidase, maltase, sucrase, lactase และ cellulase แต่โดยทั่วไปแล้วปลาส่วนมากไม่สามารถหลั่ง cellulase ออกมาย่อย cellulose ได้ด้วยตนเอง เช่น ปลาฉา ปลานิล ปลาไน แต่ปลาเหล่านี้มี cellulase ย่อย cellulose ได้ เนื่องจากจุลินทรีย์ในลำไส้ของปลาจะหลั่ง cellulase ออกมา และจุลินทรีย์เหล่านี้ยังสังเคราะห์วิตามิน หรือกรดอะมิโนบางชนิดได้อีกด้วย (วีรพงศ์, 2536)

นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ที่สามารถย่อยอาหารสัตว์ เพื่อช่วยย่อยองค์ประกอบของอาหารให้ดีขึ้น เช่น เอนไซม์ ไซลานเนส ที่ช่วยย่อยสลายไซแลนซึ่งเป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลไซโลส เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช โดยเอนไซม์ไซลานเนสทำหน้าที่ย่อยสลายโครงสร้างหลักของไซแลนให้ได้เป็นโอลิโกเมอร์สายสั้นๆ และสุดท้ายจะได้เป็นน้ำตาลไซโลสและอะราบินอส (Sa'-Pereira *et al*, 2002) โดยเอนไซม์ไซลานเนสถูกนำมาใช้ในการผลิตอาหารและอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ซึ่งจะช่วยให้กระบวนการผลิตทำได้ง่ายขึ้น โดยส่วนใหญ่เอนไซม์ไซลานเนสที่ใช้ในทางการค้าได้มาจากจุลินทรีย์ เช่น *Trichoderma*, *Bacillus*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Aureobasidium* และ *Talaromyces* spp. (อารี และสุนันทา, 2548)

10. สารสีแคโรทีนอยด์ในเนื้อปลา

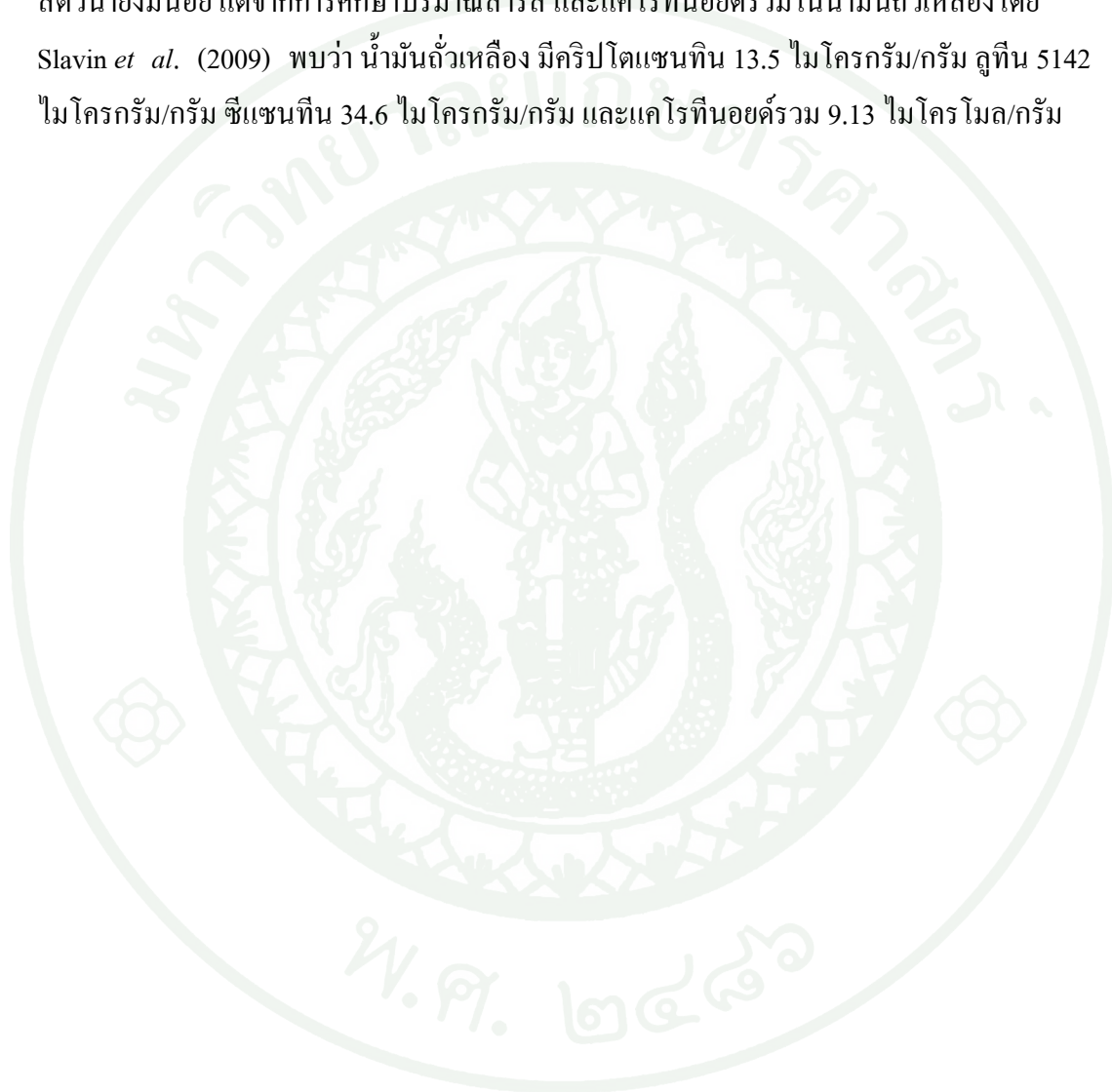
แคโรทีนอยด์เป็นสารสีที่ละลายในไขมัน โดยร่างกายสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ได้เอง จำเป็นต้องได้รับจากทางอาหาร (Goodwin, 1984) ซึ่งเป็นเม็ดสีที่มีสีเหลือง ส้มและแดง ชนิดสีเหลืองมีการกระจายมากที่สุด พบได้ตั้งแต่อาณาจักรพืช ทั้งในเนื้อเยื่อที่มีการสังเคราะห์แสง เช่น ใบ และเนื้อเยื่อที่ไม่มีการสังเคราะห์แสง เช่น ดอกและผล จนถึงอาณาจักรสัตว์ แคโรทีนอยด์ประกอบด้วยคาร์บอนน้อยหรือมากกว่า 40 คาร์บอน โดยสามารถแบ่งเม็ดสีแคโรทีนอยด์ ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ แคโรทีน และแซนโทฟิล แคโรทีนจะพบมากในแครอท มะม่วง สหรัยเซลล์เดียวจำพวก *Dunaliella salina* และน้ำมันปลา (อมรรัตน์ และบุญกร, 2543) และแซนโทฟิลจะพบมากในสหรัย กลีบดอกดาวเรือง (Philip, 1970)

อมรรัตน์ และบุญกร (2543) รายงานว่า น้ำมันสีแดงที่ได้จากปลาบางชนิดเป็นแหล่งของ แอสตาแซนทิน เช่น น้ำมันปลาแม็กเคอเรล ปลาคอด ซึ่งในกุ้งและปลาแซลมอนจำเป็นต้องใช้น้ำมันปลาเหล่านี้ผสมลงในอาหารเพื่อให้กุ้งและปลามีสีเข้มขึ้น และการใช้แคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากข้าวโพด สหรัยสไปรูลินำผสมอาหารเลี้ยงกุ้งกุลาดำ พบว่าเกิดการสะสมของสารสีในตัวกุ้งเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัว

จกกล และคณะ (2550) ได้ศึกษาผลของสหรัยสไปรูลินำสด ต่อสารสีแคโรทีนอยด์ของ ปลานิลแดง (*Oreochromis* sp.) โดยเสริมสหรัยที่ 0, 45, 50 และ 55 เปอร์เซ็นต์ เนื้อปลาเริ่มต้นมีปริมาณแคโรทีนอยด์รวมในเนื้อ 0.63-0.67 มิลลิกรัม/กรัม เลี้ยงปลาเป็นเวลา 5 เดือน สิ้นสุดการทดลองพบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อปลาแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ค่า

จะมีปริมาณมากขึ้นตามระดับปริมาณการเพิ่มสาหร่ายสไปรูลิน่าสด ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 4.07-12.43 มิลลิกรัม/กรัม

สำหรับการศึกษาการใช้กากถั่วเหลืองในอาหารสัตว์น้ำเพื่อดูปริมาณแคโรทีนอยด์สะสมในสัตว์น้ำยังมีน้อย แต่จากการศึกษาปริมาณสารสี และแคโรทีนอยด์รวมในน้ำมันถั่วเหลืองโดย Slavin *et al.* (2009) พบว่า น้ำมันถั่วเหลือง มีคริปโตแซนทีน 13.5 ไมโครกรัม/กรัม ลูทีน 5142 ไมโครกรัม/กรัม ซีแซนทีน 34.6 ไมโครกรัม/กรัม และแคโรทีนอยด์รวม 9.13 ไมโครโมล/กรัม



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. สัตว์ทดลอง

ใช้ปลาซวาย น้ำหนักเฉลี่ย 8.5 ± 0.5 กรัม/ตัว จำนวน 375 ตัว จากฟาร์มเอกชน จังหวัดปราจีนบุรี โดยในการศึกษาครั้งนี้มีการดูแล และมีการจัดการด้านการเลี้ยงที่ดี และเป็นไปตามเกณฑ์ว่าด้วยจรรยาบรรณการใช้สัตว์ทดลองแห่งชาติ

2. ถังทดลอง

ถังไฟเบอร์กลาสขนาด 1,000 ลิตร พร้อมอุปกรณ์หัวทรายให้ออกซิเจน 2 จุดต่อถัง เดิม
น้ำให้ได้ปริมาตร 800 ลิตร

3. วัตถุดิบอาหารสัตว์

- 3.1 ปลาป่น 60%, กากถั่วเหลือง 48%, โปรตีนเป้งสาเลี, รำสกัด, DDGS, Rape seed
- 3.2 น้ำมันปลา, น้ำมันถั่วเหลือง
- 3.3 เปลือกหอย, ไคแคลเซียมฟอสเฟต
- 3.4 ปริมิักซ์
- 3.5 กรดอะมิโนสังเคราะห์ เมทไธโอนีน และไลซีนสังเคราะห์ จากบริษัท EVONIK

4. อุปกรณ์เตรียมอาหารทดลอง

- 4.1 เครื่องอัดเม็ดอาหารลอย (extruder)
- 4.2 เครื่องผสมวัตถุดิบแนวนอน (mixer)
- 4.3 เครื่องบดวัตถุดิบ

5. อุปกรณ์ สารเคมี วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

- 5.1 อุปกรณ์ สารเคมีวิเคราะห์ความชื้น
- 5.2 อุปกรณ์ สารเคมีวิเคราะห์โปรตีน

- 5.3 อุปกรณ์ สารเคมีวิเคราะห์ไขมัน
- 5.4 อุปกรณ์ สารเคมีวิเคราะห์เถ้า
- 5.5 อุปกรณ์ สารเคมีวิเคราะห์เยื่อใย
- 6. อุปกรณ์ สารเคมีในการวิเคราะห์เอนไซม์
- 7. อุปกรณ์สำหรับตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา
เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล
- 8. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์แคโรทีนอยด์ในเนื้อปลา
- 9. อุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือวิเคราะห์น้ำ
 - 9.1 สารเคมีในการวิเคราะห์แอมโมเนีย และไนไตรท์
 - 9.2 เครื่องวัดออกซิเจน ของ YSI รุ่น 550 A-12
 - 9.3 เครื่องวัดพีเอชของน้ำ ของ YSI รุ่น pH 10
- 10. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพซาก
- 11. อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์ไกลโคเจน
- 12. เครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือด (Blood glucose level) one touch ultra รุ่น life scan

วิธีการ

การศึกษานี้ได้แบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาเอนไซม์ protease, amylase, pectinase, cellulase และ xylanase ในตับ ลำไส้ และกระเพาะปลาสาวย

1.1 การเตรียมปลาทดลอง

เก็บตัวอย่างปลาสาวยน้ำหนักเฉลี่ย 8.5 กรัม จากฟาร์มเอกชน จ.ปราจีนบุรี โดยเก็บตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ (เป็นปลาชุดเดียวกันที่จะนำมาทดลองในครั้งนี้)

1.2 การสกัดเอนไซม์ย่อยอาหาร

สกัดเอนไซม์ย่อยอาหารจากระบบจากระบบทางเดินอาหารได้แก่ ตับ ลำไส้ และกระเพาะอาหารของปลาสาวย ใส่ Tris-HCl 50 mM buffer pH 7.5 (อัตราส่วน 1:3 w/v) นำไปปั่นให้ละเอียด และนำไป centrifuge เพื่อให้ตกตะกอนที่ความเร็ว 3,000 รอบ/นาที ที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ดูดเอาส่วนใส และนำไป centrifuge อีกครั้งเพื่อให้ตกตะกอน ที่ 12,000 รอบ/นาที ที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และนำส่วนใสด้านบนแช่เย็นที่ -20 องศาเซลเซียสเพื่อไว้วิเคราะห์กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ต่อไป

1.3 การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ในทางเดินอาหารของปลาสาวย

นำปลาสาวยมาสกัดเอนไซม์ตามวิธี Villasante *et al.* (1999) เพื่อมาวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์โปรติเอส (protease) อะไมเลส (amylase) เซลลูเลส (cellulase) เพคตินเอส (pectinase) และไซลลเนส (xylanase)

การศึกษากิจกรรมเอนไซม์โปรติเอส และอะไมเลส ในสภาพการเปลี่ยนแปลงพีเอช 6, 7 และ 8 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยดัดแปลงจากวิธีของ Bernfeld (1957)

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดย Lowry's method (Lowry, 1951) ใช้ bovine serum albumin เป็นสารโปรตีนมาตรฐาน

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการเสริมกรดอะมิโนไลซีน และหรือ เมทไธโอนีนในอาหารปลาทรายที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลักต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพเนื้อ และสุขภาพปลา

2.1 การวางแผนการทดลอง

ศึกษาผลของการใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองทดแทนโปรตีนจากปลาป่น (fish meal, FM) และเสริมกรดอะมิโนในระดับที่แตกต่างกันในอาหารปลาทราย เพื่อ ศึกษาผลการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร คุณภาพเนื้อ และสุขภาพปลาทราย โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design) มี 5 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) อาหารสูตรที่ 1 ประกอบด้วย ปลาป่น 5%, กากถั่วเหลือง 18.34% และกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.3% (กรดอะมิโนเท่ากับความต้องการของปลาทราย)

ชุดการทดลองที่ 2 อาหารสูตรที่ 2 ประกอบด้วย ปลาป่น 0%, กากถั่วเหลือง 25.5%, กรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.38% และกรดอะมิโนไลซีน 0.05% (กรดอะมิโนเท่ากับความต้องการของปลาทราย)

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารสูตรที่ 3 ประกอบด้วย ปลาป่น 0%, กากถั่วเหลือง 25.5%, กรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.38% และกรดอะมิโนไลซีน 0.38% (กรดอะมิโนไลซีนสูงกว่าความต้องการของปลาทราย)

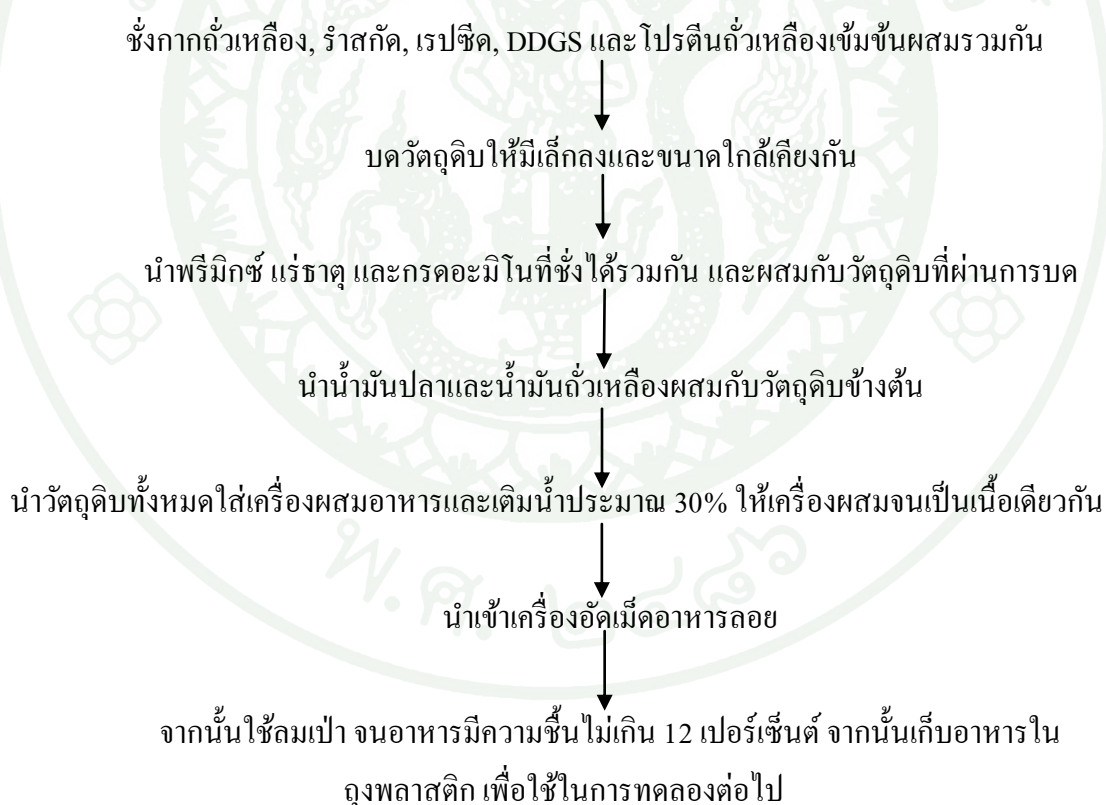
ชุดการทดลองที่ 4 อาหารสูตรที่ 4 ประกอบด้วย ปลาป่น 0%, กากถั่วเหลือง 25.5%, กรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.8% และกรดอะมิโนไลซีน 0.05% (กรดอะมิโนเมทไธโอนีนสูงกว่าความต้องการของปลาทราย)

ชุดการทดลองที่ 5 อาหารสูตรที่ 5 ปลาป่น 0%, กากถั่วเหลือง 25.5 %, กรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.8% และกรดอะมิโนไลซีน 0.65% (กรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนสูงกว่าความต้องการของปลาซาย)

ปริมาณการเสริมกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนที่สูงกว่าความต้องการของปลา อ้างอิงจากการศึกษาของ (Saidy *et al*, 2002 และ Peres and Teles, 2005)

2.2 อาหารทดลอง

อาหาร ทดลองแต่ละ สูตรประกอบด้วยวัตถุดิบต่างๆ ดัง แสดงใน ตารางที่ 8 โดยมีขั้นตอนดังนี้



อาหารทดลองจะมีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารปลาสด ณ ห้องปฏิบัติการโภชนศาสตร์และอาหารสัตว์น้ำ ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และความชื้น โดยวิธี AOAC (2000)

อาหารทดลองทุกสูตรมีโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ พลังงานรวม 4,500 กิโลแคลอรี /กิโลกรัม และมีสัดส่วนของการทดแทนแหล่งโปรตีนที่ระดับต่างๆ กัน ดังตารางที่ 8



ตารางที่ 8 ส่วนประกอบอาหารและคุณค่าทางเคมีในอาหารปลาสวย

วัตถุดิบ	อาหาร					ราคา วัตถุดิบ ⁶
	ชุดควบคุม	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	
	(5%FM)	0%FM (balance aa)	0%FM (over Lys)	0%FM (over Met)	0%FM (over Lys, Met)	
ปลาป่น	5	0	0	0	0	36
กากถั่วเหลือง	18.34	25.5	25.5	25.5	25.5	17
รำสาคัด	16	14	14	14	14	9
แป้งสาลี	21.36	20.67	20.07	20.25	19.65	22
rapeseed	9	8	8	8	8	12
DDGS	10	10	10	10	10	15
โปรตีนถั่วเหลือง						
เข้มข้น	10	10	10	10	10	32
น้ำมันปลา	1	1	1	1	1	35
น้ำมันถั่วเหลือง	3.5	4	4	4	4	42
เปลือกหอยฟูน	3.7	3.9	3.9	3.9	3.9	1.5
โมโนแคลเซียม						
ฟอสเฟต	0.8	1.5	1.5	1.5	1.5	13
พรีมิกซ์ ²	1	1	1	1	1	200
Methionine	0.3	0.38	0.38	0.8	0.8	200
Lysine	0	0.05	0.65	0.05	0.65	120
รวม (%)	100	100	100	100	100	
ราคาต้นทุน/1 กก. ³	21.41	20.90	21.49	21.65	22.24	
องค์ประกอบทางเคมี						
โปรตีน	30.97	30.19	30.42	30.25	30.52	
ความชื้น	4.70	4.78	4.84	4.60	4.72	
ไขมัน	5.02	5.06	5.30	5.30	5.24	

ตารางที่ 8 (ต่อ)

วัตถุดิบ	อาหาร					ราคา วัตถุดิบ ⁶
	ชุดควบคุม	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	
	(5%FM)	0%FM (balance aa)	0%FM (over Lys)	0%FM (over Met)	0%FM (over Lys, Met)	
เยื่อใย	5.61	4.60	4.54	4.72	4.93	
ถั่ว	10.77	11.02	11.05	11.08	11.01	
ฟอสฟอรัส	1.10	1.21	1.14	1.19	1.17	
กรดอะมิโน						
Methionine ⁵	0.72	0.72	0.72	0.97	0.97	
Lysine ⁵	1.83	1.82	2.12	1.82	2.12	

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารวิเคราะห์ตามวิธี AOAC (2000)

หมายเหตุ ¹ สูตร 1: ชุดควบคุม ปลาป่น 5% (กรดอะมิโนเมทไธโอนีน และไลซีนเท่ากับความต้องการของปลา) สูตร 2: ปลาป่น 0% (กรดอะมิโนเมทไธโอนีน และไลซีนเท่ากับความต้องการของปลา); สูตร 3: ปลาป่น 0% (กรดอะมิโนไลซีนมากกว่าความต้องการของปลา); สูตร 4: ปลาป่น 0% (กรดอะมิโนเมทไธโอนีนมากกว่าความต้องการของปลา); สูตร 5: ปลาป่น 0% (กรดอะมิโนเมทไธโอนีน และไลซีนมากกว่าความต้องการของปลา)

² วิตามินและแร่ธาตุ 1 กิโลกรัมประกอบด้วย vitamin A 1,130,000 IU; vitamin D3 1,043,170 IU; vitamin E 30,000 IU; vitamin K3 3.25 g; vitamin B1 12 g; vitamin B2 5 g; vitamin B6 30 g; vitamin B12 12 g; vitamin C 30 g; choline chloride 5 g; niacin 10 g; pantothenic acid 27 g; selenium 30 mg; calcium 30 g

³ ราคาต้นทุนวัตถุดิบ/อาหาร 1 กิโลกรัม

⁴ พลังงานคือ พลังงานที่ข่อยได้พลังงานที่ข่อยได้ = (%โปรตีน x 4.0) + (%ไขมัน x 8.0) + (%NFE x 2.5) (NRC, 1993)

⁵ เป็นผลรวมจากวัตถุดิบในอาหาร (NRC, 1993)

⁶ ราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนอาหาร/กิโลกรัม

2.3 สัตว์ทดลอง

ปลาซายที่ได้มาจากฟาร์มเอกชนในจังหวัดปราจีนบุรี ก่อนเริ่มทดลองนำปลามาเลี้ยง เพื่อให้ปลาสามารถปรับสภาพกับสิ่งแวดล้อมได้ เป็นเวลา 2 สัปดาห์ จากนั้นคัดขนาดให้ได้น้ำหนักประมาณ 8.5 ± 0.5 กรัม/ตัว จำนวน 375 ตัว ไล่ถึงทดลองถึงละ 25 ตัว/ถึง จำนวน 15 ถึง

2.4 สภาวะการทดลอง

ถังไฟเบอร์กลาสขนาด 1,000 ลิตร เติมน้ำให้ได้ปริมาตรประมาณ 800 ลิตร ใส่ปลาจำนวน 25 ตัว/ถึง ทุกถึงมีหัวทรายให้อากาศ 2 จุด วิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้นทุก 2 สัปดาห์ โดยวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ โดยใช้ DO meter, ค่า pH, ค่าอุณหภูมิ, แอมโมเนีย และไนไตรท์

2.5 การให้อาหาร

ให้อาหารตามชุดการทดลอง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ความถี่การให้อาหาร 2 ครั้งต่อวัน (8.00-9.00 และ 16.00-17.00 น.) ให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวต่อวัน แต่ถ้าช่วงไหนปลาไม่ค่อยกินอาหารหรือมีตอรับการกินอาหารที่ดี ก็จะปรับอาหารตามความเหมาะสม

2.6 การเก็บข้อมูลและบันทึก

2.6.1 ศึกษาการเจริญเติบโต

ทำการชั่งน้ำหนักปลาเริ่มต้นในแต่ละถึง โดยชั่งน้ำหนักรวม หลังจากนั้นสุ่มปลา ประมาณ 5-8 ตัว ต่อถึง ชั่งน้ำหนัก คำนวณการเจริญเติบโตทุก 2 สัปดาห์ เพื่อนำค่าที่ได้มาปรับอาหาร บันทึกน้ำหนักเฉลี่ย และอัตราการรอดของปลาทุกเช้า ในทุกชุดการทดลอง เพื่อกำหนดค่าดังต่อไปนี้

- 1) น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (daily weight gain, DWG; กรัม/ตัว/วัน)

$$= \frac{(\text{น้ำหนักที่เฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้นการทดลอง})}{\text{ระยะเวลาการทดลอง (วัน)}}$$

2) เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่ม (percentage of weight gain; เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{(\text{น้ำหนักที่เฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้นการทดลอง})}{\text{ระยะเวลาการทดลอง (วัน)}} \times 100$$

3) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate; เปอร์เซ็นต์/วัน)

$$= \frac{(\ln \text{น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \ln \text{น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้นการทดลอง})}{\text{ระยะเวลาการทดลอง (วัน)}} \times 100$$

4) อัตรารอด (survival rate; เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\text{จำนวนปลาที่เหลือรอด}}{\text{จำนวนปลาที่เริ่มทดลอง}} \times 100$$

5) ประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหาร (protein efficiency ratio, PER)

$$= \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน}}$$

6) ประสิทธิภาพของอาหาร (feed efficiency ratio, FER)

$$= \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากิน}}$$

7) ปริมาณอาหารที่ปลากิน (total feed intake, TFI; กรัม/ตัว)

$$= \frac{\text{น้ำหนักอาหารทั้งหมดที่ปลากิน}}{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}$$

8) อัตราการแลกเนื้อ (feed conversion ratio, FCR)

$$= \frac{\text{ปริมาณอาหารที่ปลากิน}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}$$

2.6.2 คุณภาพเนื้อปลา

2.6.2.1 เปอร์เซ็นต์เนื้อส่วนที่บริโภคได้ (edible flesh; เปอร์เซ็นต์)

เมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บตัวอย่างปลา โดยการสุ่มมาชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ตัว นำมาชั่งน้ำหนักตัว บันทึกผล แล้วเนื้อปลาทิ้งไว้ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ (ส่วนที่บริโภคได้) ซากหัว โครงกระดูก (ส่วนที่บริโภคไม่ได้) อวัยวะภายใน และก้อนไขมัน ชั่งน้ำหนัก และบันทึกผล

$$\text{เนื้อส่วนที่กินได้ (\%)} = \frac{100 - (\text{น้ำหนักของซาก อวัยวะภายในและก้อนไขมัน} \times 100)}{\text{น้ำหนักตัว}}$$

2.6.2.2 แคโรทีนอยด์รวมในเนื้อปลา (Total carotenoids)

นำเนื้อปลาจากการหาเปอร์เซ็นต์เนื้อที่กินได้มาหาปริมาณแคโรทีนอยด์รวมโดยทำการทดลองชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ตัวอย่าง นำตัวอย่างเนื้อชั่งน้ำหนักประมาณ 5 กรัม เติมน้ำสกัด 20 มิลลิลิตร และเติม salt NaCl 2 มิลลิลิตร นำไป sonicate ในที่เย็นและมีด 15 นาที ปรับปริมาตรด้วยน้ำสกัดให้ได้ 50 มิลลิลิตร เติมน้ำ NaSO₄ anhydrous 1 ช้อน เขย่า นำส่วนใสมาวัดด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ 470 nm

2.6.2.3 ค่าดัชนีตับต่อตัว (Hepatosomatic index)

นำปาลามาผ่าช่องท้อง และค่อยๆดึงเอาตับทั้งหมดมาชั่งน้ำหนัก และคำนวณค่า คำนวณค่า คำนวณค่าน้ำหนักตัว ตามวิธีของ Anwar and Jafri (1995)

$$\text{ค่าดัชนีตับต่อตัว (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{น้ำหนักตับ}}{\text{น้ำหนักตัว}} \times 100$$

2.6.3 การศึกษาสุขภาพสัตว์น้ำ

2.6.3.1 ปริมาณไกลโคเจนในตับ (liver glycogen; mg glucose/ml)

ตามวิธีการของ (Johann and Lentini, 1971) โดยนำเนื้อเยื่อตับมาเติม trichloro acetic acid (TCA) 5% แล้วนำไป homogenize 2 นาที จากนั้นนำไป centrifuge ที่ความเร็วรอบ 1,600 rpm นาน 5 นาที (ทำ 2 ครั้ง) ดูดส่วนใส 200-1,000 ไมโครลิตร แล้วเติม TCA 1 มิลลิลิตร และ 95% ethanol 5 มิลลิลิตร นำไปอบใน oven ที่อุณหภูมิ 37-40 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไป centrifuge ที่ความเร็วรอบ 3,000 rpm นาน 15 นาที แล้วเติมน้ำเดือด 0.5 มิลลิลิตร และ 5% phenol ในกรดซัลฟูริก 5 มิลลิลิตร นำไปอ่านค่าด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร

2.6.3.2 ระดับน้ำตาลในเลือด (Blood glucose level)

วัดด้วยเครื่องวัดอัติโนมัติ one touch ultra รุ่น life scan

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการสุ่มวิเคราะห์วัดระดับน้ำตาลในปลา วิเคราะห์ทุกชุดการทดลอง ซ้ำละ 1 ตัว โดยดูดเลือดปลาบริเวณคอดหางและนำเลือดมาหยดใส่แผ่นวัด จากนั้นอ่านค่าตัวเลขระดับน้ำตาลจากหน้าจอเครื่องมือ

2.6.3.3 ระดับโปรตีนในเลือด (serum protein level)

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการสุ่มวิเคราะห์วัดระดับโปรตีนในเลือดปลา วิเคราะห์ทุกชุดการทดลองซ้ำละ 1 ตัว โดยดูดเลือดปลาบริเวณคอดหางและนำเลือดมาวิเคราะห์

ระดับโปรตีน โดยดัดแปลงจากวิธี Lowry's method (Lowry *et al.*, 1951)

2.6.4 การเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำ ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทุก 2 สัปดาห์ ค่าที่วิเคราะห์มีดังนี้

ก. ค่าออกซิเจนละลายน้ำ วัดด้วยเครื่องวัดออกซิเจน YSI รุ่น 550 A – 12

ข. ค่าแอมโมเนีย

วิธีการวิเคราะห์

- 1) ตวงตัวอย่างน้ำ 10 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง
- 2) เติม สารละลาย $MgSO_4 \cdot 5H_2O$ ปริมาตร 300 ไมโครลิตร
- 3) เติมสารละลาย ไฮเปอร์คลอไรด์ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วทิ้งไว้ 6-12 ชั่วโมง
- 4) เทเฉพาะส่วนใสๆ ขึ้นบนมาวัดด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร
- 5) คำนวณความเข้มข้นของแอมโมเนียจากสมการที่ได้จากสมการที่ได้จากกราฟมาตรฐาน

ค. ค่าไนโตรเจน

วิธีการวิเคราะห์

- 1) ตวงตัวอย่างน้ำ 10 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง

2) เติม สารละลาย Sulfanilamine ปริมาตร 200 ไมโครลิตร (ทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที)

3) เติมสารละลาย NED (N- ethylenideamine dihydrochloride) 200 ไมโครลิตรทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที

4) เทเฉพาะส่วนใสๆ ขึ้นบนมาวัดด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร

5) คำนวณความเข้มข้นของไนไตรท์จากสมการที่ได้จากสมการที่ได้จากกราฟมาตรฐาน

ง. ค่าพีเอช วัดด้วยเครื่องมือวัดพีเอช YSI รุ่น pH 10

จ. อุณหภูมิ วัดด้วยเครื่องวัดออกซิเจน YSI รุ่น 550 A – 12 (สามารถอ่านค่าอุณหภูมิได้)

2.7 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ โดยข้อมูลที่มีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์และอัตราส่วน จะทำการแปลงข้อมูลด้วยวิธี Arcsine transformation (จริญ, 2547) ก่อนนำไปวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลอง โดย Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

สถานที่ทำการวิจัย

ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

ระยะเวลาทำการวิจัย

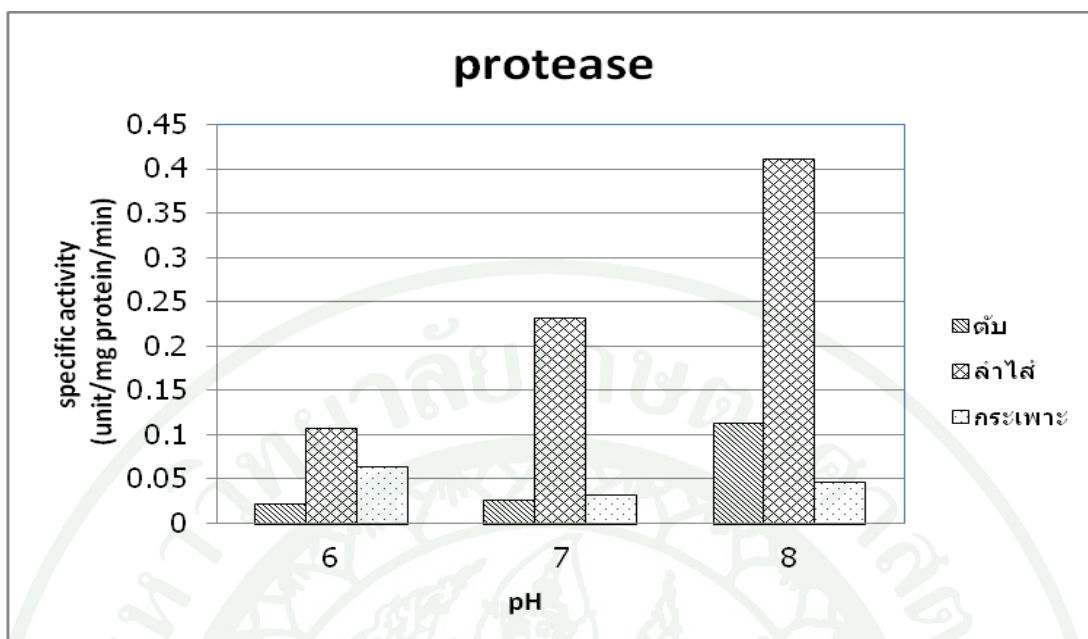
ระยะเวลาดำเนินการทดลอง พ.ย. 2553 – ตุลาคม 2554 เป็นระยะเวลา 12 เดือน

ผลและวิจารณ์

การทดลองที่ 1: ผลการศึกษาเอนไซม์ protease, amylase, pectinase, cellulase และ xylanase ในตับ ลำไส้ และกระเพาะปลาทราย

1.1 กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส (protease)

จากการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสที่สกัดจาก กระเพาะ ลำไส้และตับ ในสภาวะเปลี่ยนแปลงพีเอช (6, 7, 8) พบว่า เอนไซม์โปรติเอสมีกิจกรรมสูงสุดในลำไส้ที่พีเอช 8 โดยมีค่าเท่ากับ 0.41 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที่ ส่วนพีเอช 7 มีค่า 0.23 และพีเอช 6 มีค่าเท่ากับ 0.11 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที่ ตามลำดับ รองลงมาคือเอนไซม์ที่สกัดได้จากกระเพาะซึ่งมีค่า สูงสุดที่พีเอช 6 คือมีค่า 0.06 ส่วนพีเอช 8 มีค่า 0.05 และพีเอช 7 มีค่าเท่ากับ 0.03 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที่ ตามลำดับ และเอนไซม์ที่สกัดได้จากตับมีค่าสูงสุดที่พีเอช 8 คือมีค่าเท่ากับ 0.11 ส่วนที่พีเอช 7 มีค่าเท่ากับ 0.03 และพีเอช 6 เท่ากับ 0.02 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที่ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปลาทรายจะมีกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสในลำไส้มากกว่าส่วนอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับศึกษาของ สุดาวรรณ (2548) ที่ศึกษาในปลาช่อน พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสในลำไส้มีค่ามากกว่าในกระเพาะอาหาร โดยกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสในลำไส้แซ่ในกระเพาะอาหารจะเนื่องมาจากช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์เป็นเวลาปลา อดอาหารนานกว่า 6 ชั่วโมงมีผลต่อการหลั่งของ acid protease ทำให้ในกระเพาะวัด acid protease ได้แซ่ (สุดาวรรณ, 2548) โดย Jonas *et al.* (1983) รายงานว่าในกลุ่มปลากินเนื้อจะมีกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสสูงกว่าในกลุ่มปลากินทั้งพืชและเนื้อ กลุ่มปลากินพืช และกลุ่มปลากินซาก ตะกอน

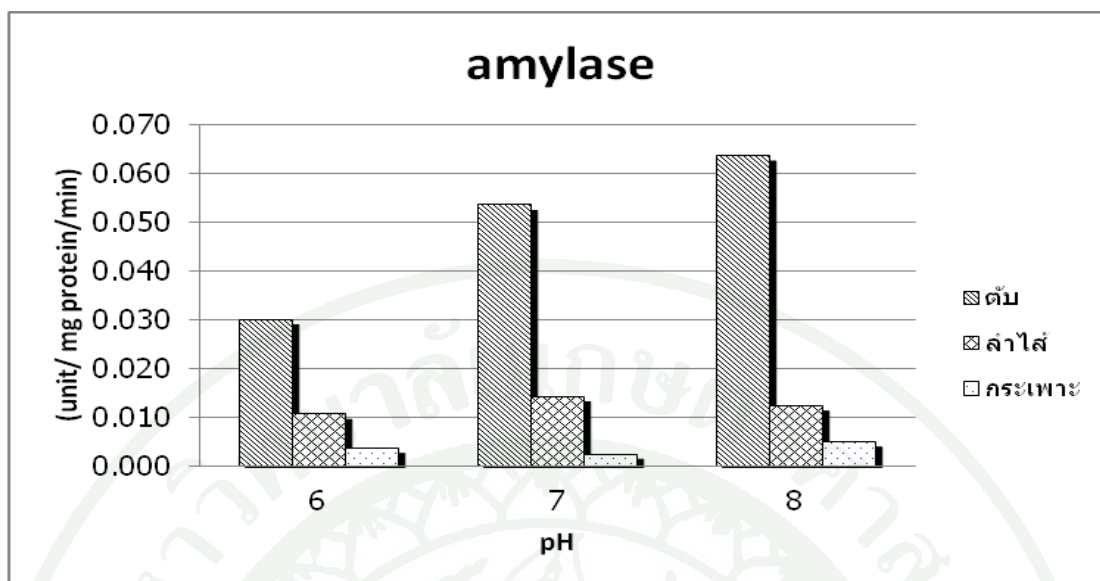


ภาพที่ 7 กิจกรรมเอนไซม์โปรติเอสของปลาซวาย

หมายเหตุ: 1 unit = 1 μmol /มิลลิกรัมโปรตีน/นาทีก

1.2 กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลส (amylase)

จากการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสที่สกัดจาก กระเพาะ ลำไส้และตับ ในสถานะเปลี่ยนแปลงพีเอช (6, 7, 8) พบว่าเอนไซม์อะไมเลสมีกิจกรรมสูงสุดในตับที่พีเอช 8 คือมีค่าเท่ากับ 0.064 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาทีก ส่วนพีเอช 7 มีค่าเท่ากับ 0.054 และพีเอช 6 มีค่า 0.031 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาทีก ตามลำดับ รองลงมาจะเป็นเอนไซม์ที่สกัดได้จากลำไส้ที่พีเอช 7 มีค่าเท่ากับ 0.014 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาทีก ส่วนพีเอช 8 มีค่าเท่ากับ 0.012 พีเอช 6 มีค่ามีค่า 0.011 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาทีก ตามลำดับ และเอนไซม์ที่สกัดได้จากกระเพาะ ที่พีเอช 8 มีค่าสูงสุดคือเท่ากับ 0.005 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาทีก ส่วนพีเอช 6 มีค่าเท่ากับ 0.004 และพีเอช 7 มีค่าเท่ากับ 0.003 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาทีก ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในตับจะค่าสูงกว่าอวัยวะอื่นๆ โดย วีรพงศ์ (2536) รายงานว่าปลากินพืช และปลากินพืชและเนื้อ เอนไซม์อะไมเลสจะถูกสังเคราะห์มาจากตับ ตับอ่อน พังลำไส้ และผนังกระเพาะอาหาร และเอนไซม์อะไมเลสจะทำหน้าที่ย่อยคาร์โบไฮเดรตซึ่งจะมีการย่อยที่ลำไส้ โดยจะไม่เกิดการย่อยที่กระเพาะอาหาร ดังนั้นจึงทำให้พบกิจกรรมเอนไซม์ในกระเพาะต่ำกว่าอวัยวะอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สุดาวรรณ (2548)

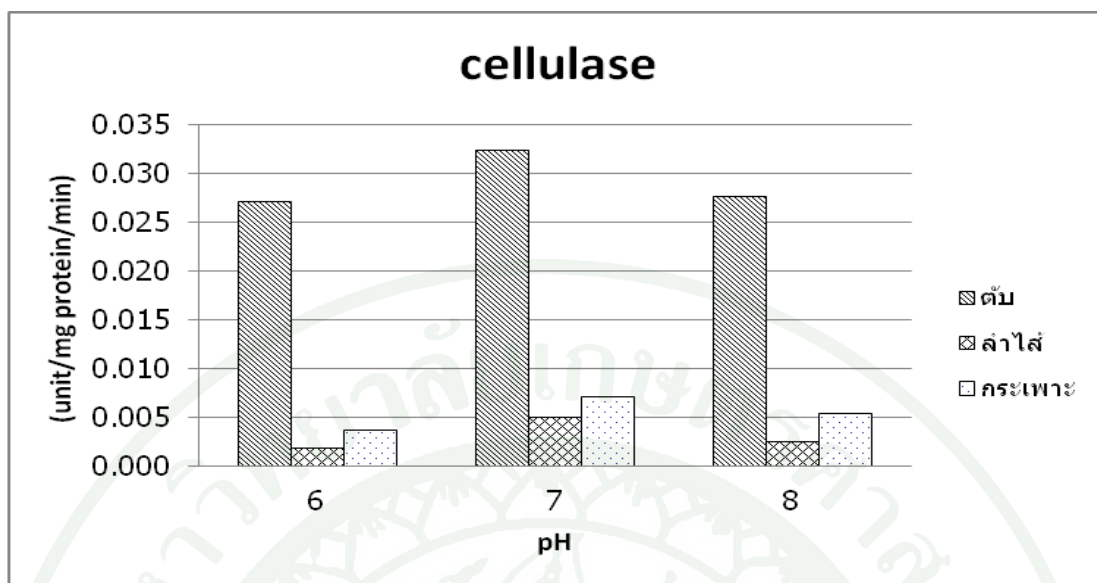


ภาพที่ 8 กิจกรรมเอนไซม์อะไมเลสของปลาซวาย

หมายเหตุ: Unit = 1 μmol มอลโตส/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที

1.3 กิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase)

จากการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสที่สกัดจาก กระเพาะ ลำไส้และตับ ในสภาวะเปลี่ยนแปลงพีเอช (6, 7, 8) พบว่าเอนไซม์เซลลูเลสมีกิจกรรมสูงสุดในตับที่พีเอช 7 โดยมีค่าเท่ากับ 0.032 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที ส่วนพีเอช 8 มีค่าเท่ากับ 0.028 และพีเอช 6 มีค่าเท่ากับ 0.027 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที ตามลำดับ และรองลงมาจะเป็นเอนไซม์ที่สกัดได้จากกระเพาะที่พีเอช 7 มีค่าสูงสุดคือ 0.007 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที ส่วนพีเอช 8 และ 6 มีค่าเท่ากับ 0.004 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที และเอนไซม์ที่สกัดได้จากลำไส้ที่พีเอช 7 มีค่าสูงสุดคือเท่ากับ 0.005 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที ส่วนพีเอช 8 มีค่าเท่ากับ 0.003 และพีเอช 6 มีค่าเท่ากับ 0.002 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที ตามลำดับโดยจะเห็นได้ว่าที่พีเอช 7 (เป็นกลาง) เป็นระดับที่พบว่ากิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสมีค่ามากกว่าที่พีเอช 6 และ 8 ในทุกอวัยวะ โดยจากการที่พบกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสในตับสูงสุดแสดงว่าตับเป็นอวัยวะหลักในการสร้างและหลั่งเอนไซม์เซลลูเลส

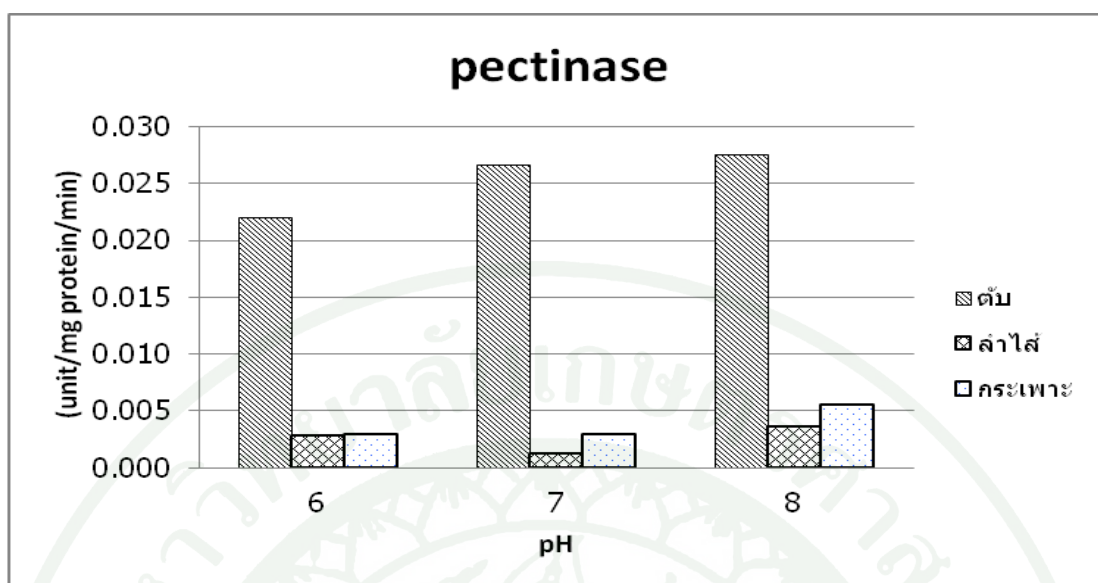


ภาพที่ 9 กิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสของปลาสวาย

หมายเหตุ: Unit = 1 μmol มอลโตส/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที

1.4 กิจกรรมของเอนไซม์เพคตินเอส (pectinase)

จากการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์เพคตินเอสที่สกัดจาก กระเพาะ ลำไส้และตับ ในสภาวะเปลี่ยนแปลงพีเอช (6, 7, 8) พบว่าเอนไซม์เพคตินเอสมีกิจกรรมสูงสุดในตับที่พีเอช 8 โดยมีค่าเท่ากับ 0.028 ส่วนพีเอช 7 มีค่าเท่ากับ 0.027 และพีเอช 6 มีค่าเท่ากับ 0.022 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที และรองลงมาจะเป็นเอนไซม์ที่สกัดได้จากกระเพาะที่พีเอช 8 มีค่าเท่ากับ 0.006 และพีเอช 6 และ 7 มีค่าเท่ากับ 0.003 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที และเอนไซม์ที่สกัดได้จากลำไส้ที่พีเอช 8 มีค่าเท่ากับ 0.004 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที ส่วนพีเอช 6 มีค่าเท่ากับ 0.003 และพีเอช 7 มีค่าเท่ากับ 0.001 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าที่พีเอช เป็นค่า (8) มีกิจกรรมของเอนไซม์เพคตินเอสสูงกว่า 6 และ 7 แสดงให้เห็นว่าในปลาสวายเอนไซม์เพคตินเอสมีการสร้างและหลั่งเอนไซม์จากตับเป็นอวัยวะหลัก

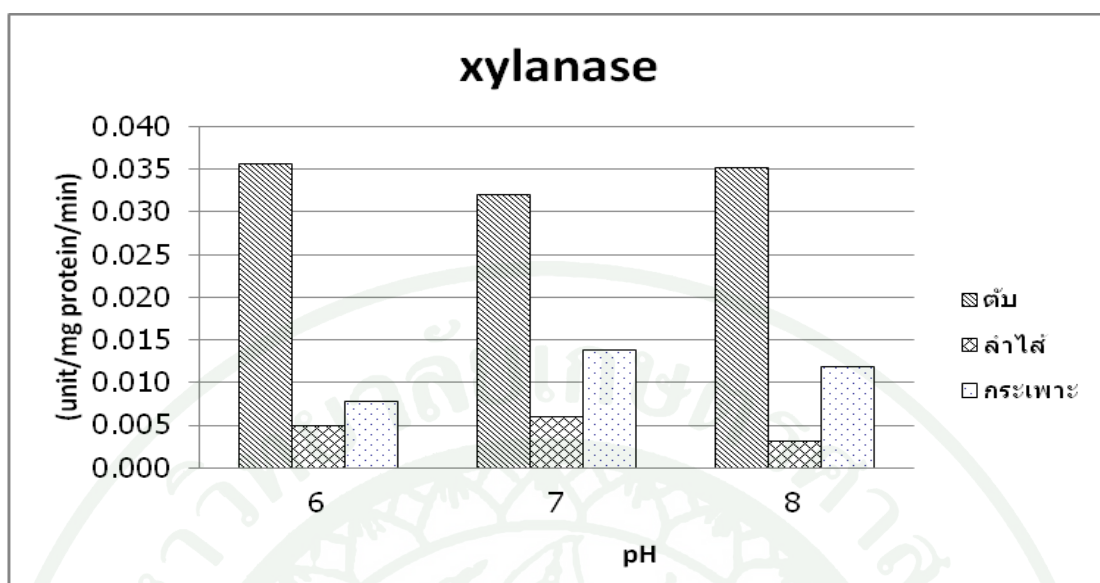


ภาพที่ 10 กิจกรรมเอนไซม์เพคตินเนสของปลาซวาย

หมายเหตุ: Unit = 1 μmol มอลโตส/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที

1.5 กิจกรรมของเอนไซม์ไซลันเนส (xylanase)

จากการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ไซลันเนส ที่สกัดจาก กระเพาะ ลำไส้และตับ ในสภาวะเปลี่ยนแปลงพีเอช (6, 7, 8) พบว่าเอนไซม์ไซลันเนส มีกิจกรรมสูงสุดในตับที่พีเอช 6 คือมีค่าเท่ากับ 0.036 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที ส่วนพีเอช 8 มีค่าเท่ากับ 0.035 และพีเอช 7 มีค่าเท่ากับ 0.032 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที ตามลำดับ และรองลงมาจะเป็นเอนไซม์ที่สกัดได้จากกระเพาะที่พีเอช 7 มีค่าสูงสุดคือเท่ากับ 0.014 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที ส่วนที่พีเอช 8 มีค่าเท่ากับ 0.012 และพีเอช 6 มีค่าเท่ากับ 0.008 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที ตามลำดับ และเอนไซม์ที่สกัดได้จากลำไส้ ที่พีเอช 7 มีค่าสูงสุดคือเท่ากับ 0.006 ส่วนพีเอช 6 มีค่าเท่ากับ 0.005 และพีเอช 8 มีค่าเท่ากับ 0.003 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที โดยจะเห็นได้ว่า มีกิจกรรมของเอนไซม์ไซลันเนสมีในตับสูงกว่าอวัยวะอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าเอนไซม์ไซลันเนสในปลาซวายมีการสร้างและหลั่งเอนไซม์จากตับเป็นอวัยวะหลัก



ภาพที่ 11 กิจกรรมเอนไซม์ไซลันเนสของปลาซวย

หมายเหตุ: Unit = 1 μmol ไซโลส/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที

การทดลองที่ 2: ผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต คุณภาพเนื้อ และสุขภาพปลา

2.1 ผลต่อการเจริญเติบโต การใช้ประโยชน์ได้จากอาหาร และต้นทุนการผลิต

2.1.1 การเจริญเติบโต และอัตราการรอดตาย

ผลการศึกษาสมรรถภาพการผลิตปลาสวาย ในอาหารที่มีการเสริมกรดอะมิโนสังเคราะห์ไลซีน หรือเมทไธโอนีน หรือทั้งไลซีนและเมทไธโอนีนในอาหารปลาสวายที่ประกอบด้วยกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลัก ขนาดน้ำหนักรับประทานเฉลี่ย 8.5 ± 0.5 กรัม เลี้ยงเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ผลการศึกษาในตารางที่ 9 พบว่า สมรรถภาพการผลิตในส่วนของน้ำหนักสุดท้าย (final weight), อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Daily weight gain, DWG) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, SGR) สูงสุดในชุดการทดลองที่เลี้ยงด้วย อาหารสูตรที่ 3 (ไม่มีปลาป่น แต่เสริมกรดอะมิโนไลซีนให้มากกว่าความต้องการของปลาสวาย) คือมีค่าเท่ากับ 70.90 กรัม, 0.74 กรัม/ตัว/วัน และ 4.74 เปอร์เซ็นต์/วัน ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าที่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) จากชุดการทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 4 (ไม่มีปลาป่น แต่เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนให้มากกว่าความต้องการของปลาสวาย) โดยอาหารทั้งสองชุดการทดลองให้ค่าที่ดีกว่า และแตกต่างจากอาหารชุดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และจากการทดลองในชุดการทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2 (ไม่มีปลาป่นที่มีการเสริมกรดอะมิโนเท่ากับความต้องการของปลาสวาย) ให้ค่าน้ำหนักสุดท้ายต่ำสุด (final weight) คือมีค่า 55.91 กรัม อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Daily weight gain) มีค่า 0.56 กรัม/ตัว/วัน และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate) มีค่าเท่ากับ 4.35 เปอร์เซ็นต์/วัน แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ใช้ปลาป่น (อาหารสูตรที่ 1) สำหรับอาหารในชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 5 (ไม่มีปลาป่น มีการเสริมกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนมากกว่าความต้องการของปลาสวาย) ให้ค่าที่ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่ใช้ปลาป่น (อาหารสูตรที่ 1) แต่ให้ค่าที่ดีกว่าอาหารสูตรที่ 2 ไม่มีปลาป่นที่ (มีการเสริมกรดอะมิโนเท่ากับความต้องการของปลาสวาย) ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การเจริญเติบโต และอัตราการรอด ของปลาสวายเมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)

พารามิเตอร์	อาหาร					P-value
	ชุดควบคุม	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	
	(5%FM)	0%FM (balance aa)	0%FM (over Lys)	0%FM (over Met)	0%FM (over Lys, Met)	
การเจริญเติบโต						
initial weight (g/fish)	8.89±0.53	8.66±0.54	8.58±0.28	8.33±0.25	8.53±0.20	0.863
final weight (g/fish)	58.81±1.13 ^{ab}	55.91±0.52 ^a	70.90±1.28 ^c	68.75±2.63 ^c	62.10±6.25 ^b	0.001
%weight gain	59.43±0.46 ^a	56.26±0.81 ^a	74.19±1.42 ^b	71.93±3.20 ^b	63.78±7.66 ^a	0.001
daily weight gain (g/fish/day)	0.59±0.004 ^{ab}	0.56±0.008 ^a	0.74±0.01 ^c	0.72±0.03 ^c	0.64±0.07 ^b	0.032
specific growth rate (%/day)	4.42±0.04 ^{ab}	4.35±0.03 ^a	4.74±0.03 ^c	4.70±0.06 ^c	4.52±0.17 ^b	0.001
survival rate (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	ns

หมายเหตุ a, b, c อักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่ม (percentage of weight gain, %WG) ของปลาสาวยพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยในอาหารสูตรที่ 3 (ไม่มีปลาป่นและเสริมกรดอะมิโนไลซีนให้มากกว่าความต้องการของปลาสาวย) จะให้ค่าที่สูงกว่าอาหารทดลองชุดอื่นๆ คือมีค่าเท่ากับ 74.19 เปอร์เซ็นต์ แต่ให้ค่าที่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากอาหารสูตรที่ 4 (ไม่มีปลาป่นและเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนให้มากกว่าความต้องการของปลาสาวย) และพบว่าใน อาหารสูตรที่ 2 (ไม่มีปลาป่นและเสริมกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนเท่ากับความต้องการของปลาสาวย) มีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ คือมีค่าเท่ากับ 56.26 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารชุดควบคุมที่มีปลาป่น และอาหารสูตรที่ 5 (ไม่มีปลาป่นเสริมทั้งกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนให้มากกว่าความต้องการของปลาสาวย) ดังตารางที่ 9

อัตราการรอดตาย (survival rate) เมื่อเลี้ยงปลาสาวยไปจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าปลาในทุก ชุดการทดลองให้อัตราการรอดตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

2.1.2 การใช้ประโยชน์ได้ของอาหาร

ประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหาร (protein efficiency ratio, PER) เป็นการประเมินประสิทธิภาพของโปรตีนที่ปลากินซึ่งมีผลทำให้น้ำหนักปลาเพิ่มขึ้น ผลการทดลองในตารางที่ 10 พบว่ามีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยปลาสาวยที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 (ไม่มีปลาป่นและเสริมกรดอะมิโนไลซีนให้มากกว่าความต้องการของปลาสาวย) ให้ผลที่ดีที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 2.91 แต่ให้ค่าที่ไม่แตกต่างทางสถิติจากปลาสาวยที่ได้รับ อาหารสูตรที่ 4 (ไม่มีปลาป่นและเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนให้มากกว่าความต้องการของปลาสาวย) และพบว่าปลาสาวยที่ได้รับอาหารในชุดการทดลองที่มีปลาป่น (ชุดควบคุม) ให้ค่าที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปลาสาวยที่ได้รับ อาหารสูตรที่ 2 (ไม่มีปลาป่นและเสริมกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนเท่ากับความต้องการของปลา) และอาหารสูตรที่ 5 (ไม่มีปลาป่นโดยเสริมทั้งกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนให้มากกว่าความต้องการของปลาสาวย)

ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed efficiency ratio) เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของอาหาร 1 กิโลกรัม ทำให้ปลามีน้ำหนักเพิ่มขึ้นกี่กิโลกรัม ซึ่งเป็นส่วนกลับกับค่าอัตราการเปลี่ยน

อาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio) จากผลการทดลองให้ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยในอาหารอาหารสูตรที่ 3 (ไม่มีปลาป่นและเสริมกรดอะมิโนไลซีนให้มากกว่าความต้องการของปลา) ให้ผลที่ดีที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 0.90 แต่ให้ค่าที่ไม่แตกต่างทางสถิติจากปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (ไม่มีปลาป่นและเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนให้มากกว่าความต้องการของปลา) และพบว่าปลาที่ได้รับอาหารในชุดการทดลองที่มีปลาป่น (ชุดควบคุม) ให้ค่าที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับ อาหารสูตรที่ 2 (ไม่มีปลาป่นและเสริมกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนเท่ากับความต้องการของปลา) และอาหารสูตรที่ 5 (ไม่มีปลาป่นโดยเสริมทั้งกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนให้มากกว่าความต้องการของปลา) โดยในปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 (ไม่มีปลาป่นและเสริมกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนเท่ากับความต้องการของปลา) ให้ค่าต่ำที่สุด คือเท่ากับ 0.78

จากผลการทดลองที่ 1 จะเห็นได้ว่าในระบบทางเดินอาหารของปลาจะมีกิจกรรมเอนไซม์ที่ศึกษา คือ โปรติเอส อะไมเลส เซลลูเลส เพคตินเอส และไลเปส ในตับ ลำไส้ และกระเพาะอาหาร โดยเอนไซม์เหล่านี้ทำหน้าที่ในการย่อยอาหารให้มีขนาดที่เล็กลง ทำให้ปลาสามารถนำอาหารไปใช้ได้ โดยเฉพาะเอนไซม์เซลลูเลส เพคตินเอส และไลเปส เป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยสารเซลลูโลส เพคติน ไชเลน ซึ่งเป็นสารประเภทเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยยาก เป็นสารประกอบของผนังเซลล์พืช ดังนั้นการใช้กากถั่วเหลืองในปริมาณสูงในปลาจึงมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการย่อยไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารชุดควบคุมที่มีระดับกากถั่วเหลืองปริมาณน้อยกว่า

ปริมาณอาหารที่กิน (feed intake) เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณอาหารที่ปลากินทั้งหมดต่อตัวในตลอดระยะเวลาการทดลอง จากผลการทดลองให้ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ปลาที่ได้รับ อาหารสูตรที่ 4 (ไม่มีปลาป่นและเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนให้มากกว่าความต้องการของปลา) มีค่าสูงสุด คือเท่ากับ 69.02 กรัม/ตัว แต่ให้ค่าที่ไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่ให้อาหารสูตรที่ 3 (ไม่มีปลาป่นและเสริมกรดอะมิโนไลซีนให้มากกว่าความต้องการของปลา) และอาหารสูตรที่ 5 (ไม่มีปลาป่นโดยเสริมทั้งกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนให้มากกว่าความต้องการของปลา) โดยในอาหารสูตรที่ 2 (ไม่มีปลาป่นและเสริมกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนเท่ากับความต้องการของปลา) ให้ค่าต่ำที่สุด คือเท่ากับ 60.03 กรัม/ตัว ดังได้แสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การใช้ประโยชน์จากอาหาร และต้นทุนการผลิตปลาทรายเมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)

พารามิเตอร์	อาหาร					P-value
	ชุดควบคุม	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	
	(5%FM)	0%FM (balance aa)	0%FM (over Lys)	0%FM (over Met)	0%FM (over Lys, Met)	
การใช้ประโยชน์ได้จากอาหาร						
feed intake (g/fish)	62.07±3.66 ^a	60.03±1.96 ^a	68.92±0.81 ^b	69.02±2.09 ^b	63.61±5.90 ^{ab}	0.027
feed conversion ratio	1.24±0.07 ^{ab}	1.27±0.04 ^a	1.11±0.01 ^c	1.14±0.03 ^{bc}	1.19±0.05 ^{ab}	0.005
protein efficiency ratio	2.6±0.15 ^a	2.6±0.08 ^a	2.97±0.04 ^c	2.89±0.07 ^{bc}	2.76±0.11 ^{ab}	0.03
feed efficiency ratio	0.81±0.05 ^a	0.78±0.03 ^a	0.90±0.01 ^c	0.88±0.02 ^{bc}	0.84±0.03 ^{ab}	0.004
cost (baht / fish 1 kg)	26.48±1.45 ^c	26.36±0.89 ^c	23.56±0.31 ^a	24.34±0.61 ^{ab}	25.35±0.99 ^{bc}	0.005

หมายเหตุ a, b, c อักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

อัตราการใช้เปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio) คือค่าปริมาณอาหารที่ปลากินกี่หน่วยจึงทำให้ปลามีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 1 หน่วย โดยในการทดลองนี้พบว่าให้ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในอาหารสูตรที่ 3 (ไม่มีปลาป่นและเสริมกรดอะมิโนไลซีนให้มากกว่าความต้องการของปลาสาวย) ให้ผลที่ดีที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 1.11 แต่ให้ค่าที่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) จากปลาสาวยที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (ไม่มีปลาป่นและเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนให้มากกว่าความต้องการของปลาสาวย) โดยในอาหารสูตรที่ 2 (ไม่มีปลาป่นและเสริมกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนเท่ากับความต้องการของปลา) ให้ค่าสูงที่สุด คือเท่ากับ 1.27 แต่ให้ค่าที่ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารในชุดควบคุม และอาหารสูตรที่ 5 (ไม่มีปลาป่นโดยเสริมทั้งกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนให้มากกว่าความต้องการของปลาสาวย)

จากผลการเจริญเติบโต และการใช้ประโยชน์ได้จากอาหารจะเห็นได้ว่าการเสริมกรดอะมิโนสังเคราะห์ในอาหารปลาสาวย เพื่อให้มีปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของปลาเป็นปัจจัยสำคัญที่ควรคำนึงถึง โดยเฉพาะการนำวัตถุดิบจากพืชมาใช้ในอาหารสัตว์น้ำในสัดส่วนที่สูง เพราะในพืชจะมีกรดอะมิโนบางตัวในปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของปลา โดยเฉพาะกรดอะมิโนเมทไธโอนีนมีปริมาณในกากถั่วเหลือง (48 %) น้อยกว่าที่มีในปลาป่น (60 %) ถึง 58 เปอร์เซ็นต์ (ดังตารางที่ 3) ดังนั้นการนำกากถั่วเหลืองมาใช้เพื่อทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในระดับที่สูง จึงมีความจำเป็นต้อง ปรับสูตรให้มีระดับโปรตีนเท่ากัน และ นำแหล่งกรดอะมิโนมาเสริมเพื่อทดแทนให้มีในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของปลา ซึ่งจากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเสริมกรดอะมิโนไลซีน หรือเมทไธโอนีนในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของปลาสาวย ทำให้ปลามีการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร ไม่แตกต่างจากปลาสาวยในชุดการทดลองที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่น ซึ่ง สามารถทดแทนการใช้โปรตีนจากปลาป่นได้ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตปลาสาวย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปลาสามารถนำโปรตีน กรดอะมิโน และสารอาหารไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Webster *et al.* (1992) ในปลา Channel catfish น้ำหนักเริ่มต้น 11 กรัม โดยศึกษาการทดแทนการใช้ปลาป่นด้วย โปรตีนจากพืชคือ กากถั่วเหลือง บางส่วนหรือทั้งหมด และใช้ distillers grains with soluble ในทุกสูตร ยกเว้นอาหารสูตรที่มีอัตราส่วนของปลาป่นสูงที่สุด และเสริมกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีน ในสูตรที่ไม่ใช้ปลาป่น ให้มีระดับโปรตีนที่ 35 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงทดลองเป็นเวลา 12 สัปดาห์ สิ้นสุดการทดลองพบว่า ผลการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และอัตราแลกเนื้อไม่มีความแตกต่างทางสถิติในอาหารทุกชุดการทดลอง ($P > 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการรวมกันของพืชที่เป็นแหล่งโปรตีนสามารถทดแทนปลาป่นได้โดยไม่มีผลกระทบต่อการใช้เจริญเติบโตและอัตราการ

รอดของปลา Channel catfish เมื่อมีการปรับระดับกรดอะมิโนให้ใกล้เคียงกันและเพียงพอต่อความต้องการของสัตว์น้ำ นอกจากนี้ผลการศึกษารังนี้ยัง สอดคล้องกับการศึกษาของ Kaushik *et al.* (1995) ที่พบว่าปลา rainbow trout สามารถใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองที่มีการเสริมกรดอะมิโน เมทไธโอนีน ทดแทนโปรตีนจากปลาป่นได้ สูงสุด 100 เปอร์เซ็นต์ โดยให้ผลการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการนำอาหารไปใช้ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในอาหาร และดัชนีตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติจากชุดควบคุมที่ใช้โปรตีนจากปลาป่น ($P>0.05$) โดยในการทดลองพบว่าในผลิตภัณฑ์ มีสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน น้อยกว่า 3 mg/g ซึ่งโดยทั่วไปปลา rainbow trout จะเป็นปลาที่มีการตอบสนองต่อผลกระทบจากสารยับยั้งของ protease มากกว่าสัตว์อื่นๆ ที่ศึกษา คือ มนุษย์ หนู สุกร โค ไก่ สุนัข (Krogdahl and Holm, 1983)

สอดคล้องกับการศึกษาของ Huang (2004) ทดแทนการใช้โปรตีนจากปลาป่นด้วย กากถั่วเหลือง dehulled sorbean meal โดยให้มีปลาป่น 0, 5, 12 และ 20 % ในอาหาร 4 สูตร โดย ทำการศึกษาในปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) ขนาด 155 กรัม เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ผลของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ประสิทธิภาพของโปรตีน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) และสอดคล้องกับการศึกษาของ Hu *et al.* (2008) ในการใช้ by product จากสัตว์ปีกป่นทดแทนการใช้ปลาป่นและเสริมกรดอะมิโน ไลซีนและเมทไธโอนีนเท่ากันในทุกสูตรอาหารทดลองและมีระดับโปรตีน 37.5 เปอร์เซ็นต์ โดย ศึกษาในปลา gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) ที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 13.45 กรัม เลี้ยงเป็น ระยะเวลา 12 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพของ อาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

สำหรับผลการศึกษาในอาหารปลาสาวยสูตรที่มีการเสริมกรดอะมิโนไลซีนหรือ เมทไธโอนีน ชนิดใดชนิดหนึ่งมากกว่าความต้องการของปลาสาวย จะให้ผลการเจริญเติบโต และ ประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่าอาหารสูตรอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Zarate and Lovell (1997) ซึ่งทำการทดลองในปลา young channel catfish (*Ictalurus punctatus*) ที่มีระดับโปรตีน 26 เปอร์เซ็นต์ทุกชุดการทดลอง โดยใช้โปรตีนจากปลาป่นเท่ากัน แต่มีการใช้ระดับโปรตีนจากพืชที่ แตกต่างกัน คือ dehulled soybean, peanut meal, corn gluten meal, และ corn และเติมกรดอะมิโน ไลซีนในอาหารในระดับที่แตกต่างกัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่มีการใช้โปรตีน จากพืชที่เป็นกากถั่วเหลือง และมีการเติมกรดอะมิโนไลซีนที่ระดับสูงกว่าชุดอื่นๆ คือ 1.27 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการเจริญเติบโตที่ดีกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

และสอดคล้องกับการศึกษาของ Abboudi *et al.* (2006) ที่ได้ศึกษาระดับความต้องการโปรตีนและกรดอะมิโนไลซีนสำหรับการดำรงชีวิตและระดับที่สะสมในเนื้อเยื่อปลา Atlantic salmon (*Salmo salar*) ที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 1.5 กรัม เลี้ยงเป็นระยะเวลา 28 วัน โดยระดับความต้องการของไลซีนในปลาอยู่ที่ 29.3 กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม และเมื่อเพิ่มระดับของกรดอะมิโนในอาหาร เป็น 49.46 กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม พบว่าการเจริญเติบโต และการสะสมของไลซีน ในโตรเจนในเนื้อเยื่อ จะมีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับกรดอะมิโนไลซีนในระดับที่ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และในการศึกษาของ Thu *et al.* (2007) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการเติมกรดอะมิโนไลซีนระดับที่แตกต่างกันคือ มีการเติมให้มีระดับกรดอะมิโนในอาหารเป็น 10, 12, 14, 16, 18, และ 20 กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม และอาหารที่มีแหล่งโปรตีนจากพืชแตกต่างกันคือ wheat gluten, Maize, และ Sesame oil cake ในปลา rainbow trout fry (*Oncorhynchus mykiss*) ที่มีน้ำหนักปลาเริ่มต้น 0.92 กรัม เลี้ยงเป็นระยะเวลา 30 วัน สิ้นสุดการทดลองพบว่า ในทุกชุดการทดลองของอาหารที่มีแหล่งโปรตีนจากพืชแตกต่างกัน ค่าการเจริญเติบโต และอาหารที่ปลากินจะสูงขึ้นตามลำดับการเพิ่มขึ้นของการเสริมกรดอะมิโนไลซีนในอาหาร แต่ค่าประสิทธิภาพของอาหารและประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหารให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

แต่อย่างไรก็ตามมีการศึกษาที่รายงานถึงผลการใช้กรดอะมิโนในอาหารปลาชนิดต่างๆ เพื่อให้ปลาได้รับกรดอะมิโนที่เพียงพอหรือมากกว่าความต้องการของปลาดังการศึกษาของ Andrew and Page (1974) พบว่าในปลา catfish การเจริญเติบโตจะลดลง เมื่อมีการเติมเฉพาะกรดอะมิโนเมทไธโอนีนหรือไลซีนในอาหารที่มีกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลัก แต่จะเจริญเติบโตได้ปกติ เมื่อมีการเติมทั้งกรดอะมิโนเมทไธโอนีนและไลซีนในอาหารที่มี fat-free extract ของ menhaden meal ส่วน Rumsey and Ketola (1975) รายงานว่าปลาเทราท์จะมีการเจริญเติบโตดี เมื่อมีการเติมกรดอะมิโน 5 ชนิด ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนเมทไธโอนีนและไลซีนในอาหารที่มีกากถั่วเหลือง Yuan *et al.* (2011) ศึกษาผลของการเติม coated lysine, coat methionine ในอาหารปลา Chinese sucker (*Myxocyprinus asiaticus*) โดยทดลองเติมกรดอะมิโนอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือเติมทั้งสอง ชนิด ปลาน้ำหนักเริ่มต้น 3.3 กรัม เลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปลาชุดการทดลองที่เติมกรดอะมิโนทั้งสอง ชนิดให้ผลน้ำหนักสุดท้ายที่ดีกว่าชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมกรดอะมิโนทั้งสอง หรือเติมอย่างใดอย่างหนึ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และ Saidy and Gaber (2002) ได้ทดลองในปลานิล โดยพบว่า เมื่อมีการเสริมกรดอะมิโนไลซีนเกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลัก จะให้ผลการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพโปรตีนที่ลดลง

ในการศึกษาของ Bicudo *et al.* (2009) ได้ศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไลซีนในปลา juvenile pacu (*Piaractus mesopotamicus*) ที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 4.3 กรัม ระดับโปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์ เท่ากันในการทดลอง และมีการเสริมกรดอะมิโนไลซีนเพื่อให้มีในสูตรอาหารทดลองดังนี้ 0.9, 1.17, 1.44, 1.69 และ 1.96 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร สิ้นสุดการทดลองพบว่า อาหารชุดการทดลองที่มีปริมาณกรดอะมิโนไลซีนที่ให้ค่าการเจริญเติบโตดีที่สุดคือ ชุดการทดลองที่มีปริมาณกรดอะมิโนไลซีน 1.44 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร โดยค่าที่ได้แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณกรดอะมิโนไลซีน 1.96 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร ซึ่งให้ค่าที่ต่ำกว่าโดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และ Peres and Teles (2005) ได้ศึกษาการใช้กรดอะมิโนเดิมในอาหารเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่น ในอาหาร 4 สูตร คือ ไม่มีการเติมกรดอะมิโน(ชุดควบคุม), ทดแทนในระดับ 19, 37 และ 56 เปอร์เซ็นต์ ในการเลี้ยงปลา turbot น้ำหนักเริ่มต้น 31.8 กรัม เลี้ยงเป็นระยะเวลา 42 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ชุดควบคุม และเติมกรดอะมิโนทดแทนปลาป่น 19 เปอร์เซ็นต์ให้ผลการเจริญเติบโตดีกว่าชุดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทดลอง เสริมกรดอะมิโนสังเคราะห์ทั้งไลซีนและเมทไธโอนีนให้มีปริมาณที่มากกว่าความต้องการของสัตว์น้ำ เพื่อให้สัตว์น้ำได้มีการเจริญเติบโตปกติหรือมากกว่าจากการเสริมกรดอะมิโนในระดับที่เพียงพอของปลา แต่จากการศึกษาในครั้งนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเสริมทั้งกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนในปริมาณที่มากเกินไปเกินความต้องการของปลา การเจริญเติบโต และการใช้ประโยชน์จะให้ค่าที่ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่มีปลาป่น แต่จะให้การเจริญเติบโตที่น้อยกว่าการเสริมกรดอะมิโนตัวใดตัวหนึ่ง ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับการศึกษาของ Millamena *et al.* (1999) ซึ่งศึกษาปริมาณของกรดอะมิโนที่จำเป็น ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต สำหรับกุ้งกุลาดำ พบว่าเมื่อมีการเติมกรดอะมิโนในระดับที่สูงขึ้นเกินระดับที่เหมาะสมจะทำให้การเจริญเติบโตลดลง ผู้วิจัยให้เหตุผลว่า อาจเป็นเพราะความไม่ทนทานของกุ้งที่ได้รับกรดอะมิโนสูงกว่าในระดับที่เหมาะสม ตกวรรณ (2550) กล่าวว่าการศึกษาสมดุลของกรดอะมิโนให้เหมาะสมนั้นมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการใช้โปรตีน ถ้าหากมีกรดอะมิโนที่มากเกินไปเกินความต้องการหรือไม่เพียงพอและไม่สมดุลก็จะทำให้สมรรถภาพการผลิตจะลดลง สอดคล้องกับ Walldroup *et al.* (1976) รายงานว่าระดับกรดอะมิโนในกระแสเลือดที่สูงมากเกินไปจะมีผลกระทบต่อการทำงานของต่อมไฮโปทาลามัส ทำให้ไม่รู้สึกลอยากกินอาหาร และจะส่งผลต่อปริมาณการกินลดลงได้ และ Murai *et al.* (1983) รายงานว่าอาหารที่เติมกรดอะมิโนสังเคราะห์มากเกินไปจะทำให้เกิดลดความน่ากินของอาหารจากการที่อาหารมีฟีเอร์ที่ลดลง และการที่มีกรดอะมิโนที่ไม่มีความสมดุล

ก็ทำให้ปลาเจริญเติบโตลดลงเนื่องจากความเป็นพิษของกรดอะมิโนได้ (Lovell, 1988; Peres and Teles, 2005)

แต่อย่างไรก็ตามได้มีบางรายที่ได้ศึกษาการนำโปรตีนจากกากถั่วเหลืองหรือจากพืชอื่นๆในปลาหลายชนิด ซึ่งให้ผลที่แตกต่างจากการทดลองในครั้งนี้ ดังรายงานการศึกษาของ Requeni *et al.* (2004) ได้ศึกษาการใช้โปรตีนจากแหล่งพืช 4 ชนิด คือ corn gluten meal, wheat gluten, extruded peas, และ rapeseed meal ทดแทนการใช้โปรตีนจากปลาป่น ในระดับ 0, 50, 75, และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในปลา gilthead sea bream (*Sparus aurata*) เลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าน้ำหนักสุดท้าย และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่ม ให้ค่าที่ต่ำเมื่อระดับการทดแทนด้วยกากถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Wang *et al.* (2006) ได้ศึกษาผลของการทดแทนการใช้โปรตีนจากปลาป่นด้วยกากถั่วเหลืองในปลา cuneate drum (*Nibea miichthioides*) ที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 29.8 กรัม โดยมีการทดแทนปลาป่น 0, 20, 40, 60, 80, และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยอาหารทุกสูตรมีระดับโปรตีน 39 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปลามีความสามารถทดแทนการใช้โปรตีนด้วยกากถั่วเหลืองที่ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยที่มีผลกระทบต่อน้ำหนักสุดท้าย และอัตราการรอด เมื่อมีการทดแทนที่ 60–100 เปอร์เซ็นต์ และ Lin and Luo (2011) ได้ศึกษาผลของการทดแทนปลาป่นด้วยกากถั่วเหลืองที่ระดับ 0, 25, 50, 75, และ 100 เปอร์เซ็นต์ และเสริมกรดอะมิโนไลซีนในอาหาร เพื่อให้มีระดับที่เพียงพอต่อความต้องการในปลานิล ที่น้ำหนักเริ่มต้น 4 กรัม เลี้ยงเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าสามารถทดแทนปลาป่นด้วยกากถั่วเหลืองที่ระดับ 75 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลกระทบต่อเจริญเติบโต ประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหาร และอัตราการแลกเนื้อ และยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Shiau *et al.* (1989) ที่ศึกษาการทดแทนปลาป่นด้วยกากถั่วเหลืองในปลานิล (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*)

ธีระชัย และคณะ (2551) ได้ศึกษาการใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในอาหารเลี้ยงปลาเทโพน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 102.25 กรัม ที่มีการระดับทดแทน 0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารที่มีการทดแทนปลาป่น 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีการเสริมกรดอะมิโนไลซีนในอาหาร โดยในชุดการทดลองที่มีการทดแทนปลาป่น 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีปริมาณกรดอะมิโนไลซีนน้อยกว่าความต้องการของปลา แต่มีปริมาณของเมทไธโอนีนที่มากกว่าความต้องการของปลาเทโพ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปลา

การเจริญเติบโตที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) สามารถทดแทนปลาป่นได้เพียง 25 เปอร์เซ็นต์ โดยจะเห็นได้ว่า เมื่อมีปริมาณกรดอะมิโนไลซีนไม่เพียงพอ ถึงแม้จะมีเมทไธโอนีนสูงกว่าความต้องการแต่ก็ไม่ทำให้ปลาเจริญเติบโตได้อย่างปกติ ซึ่งอาจเกิดจากการเสียสมดุลของกรดอะมิโนที่จำเป็น โดย Lin and Luo (2011) ได้รายงานว่าระดับความเหมาะสมของการทดแทนปลาป่นด้วยกากถั่วเหลืองในอาหาร อาจจะขึ้นอยู่กับชนิด อายุ ของปลา ส่วนประกอบของอาหาร หลัก/วิธีในการให้อาหารปลา และ anti-nutritional factor ในอาหารที่ปลาได้รับ

ผลจากการให้ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลักในปลาซวายที่มีปริมาณกรดอะมิโนเท่ากับความต้องการของปลาซวาย (ชุดการทดลองที่ 2) จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้จากอาหารให้ผลที่ไม่แตกต่างจากปลาซวายที่ได้รับอาหารชุดควบคุมที่มีปลาป่น และมีปริมาณกากถั่วเหลืองน้อยกว่า และปลาซวายที่ได้รับอาหารที่ไม่มีปลาป่น และมีกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลักโดยมีปริมาณกรดอะมิโนไลซีน หรือเมทไธโอนีนมากกว่าความต้องการของปลาซวาย จะให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารที่ดีกว่าชุดอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าถึงแม้จะมีการใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองซึ่งเป็นโปรตีนจากพืชแต่ระบบการย่อยการดูดซึมและเปลี่ยนสารอาหารที่ปลาสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้โดยไม่มีผลกระทบเมื่อเปรียบเทียบกับปลาซวายที่ได้รับอาหารชุดควบคุม ทั้งนี้จากการศึกษากิจกรรมเอนไซม์จากการทดลองที่ 1 จะเห็นได้ว่าในระบบทางเดินอาหารปลาซวายจะมีกิจกรรมเอนไซม์ที่ช่วยในการย่อยอาหารทั้งในกระเพาะอาหาร ตับ และลำไส้ โดยเฉพาะเอนไซม์ที่ช่วยย่อยสารที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช คือ เซลลูเลส เพคตินเอส และไซแลนเนส ซึ่งจะพบเฉพาะในปลาบางชนิดเท่านั้น (วีรพงษ์, 2536) ทำให้ปลาสามารถนำสารอาหารไปใช้ประโยชน์ได้มาก

2.1.3 ต้นทุนการผลิต

ปลาซวายขนาดน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 8.5 กรัม ที่ได้รับอาหารต่างกันเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า ปลาซวายจะให้ค่าน้ำหนักสุดท้าย ที่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) ดังตารางที่ 9 โดยปลาซวายที่ได้รับอาหารที่มีการทดแทนปลาป่น และเสริมกรดอะมิโนไลซีน หรือเมทไธโอนีน ให้ค่าที่สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ และเมื่อเปรียบเทียบ ต้นทุนค่าอาหาร เพื่อให้ได้ปลา 1 กิโลกรัม พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังตารางที่ 10 โดยต้นทุนของปลาซวายที่ได้รับ อาหารที่มีการทดแทนปลาป่น และเสริมกรดอะมิโนไลซีน หรือเมทไธโอนีน มากกว่าความต้องการของปลา โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.56 และ 24.34 บาท ต่อปลา

1 กิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารในสูตรที่มีปลาป่นจะมีราคาค้นทุนสูงกว่าชุดอื่นๆคือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.48 บาท ต่อปลา 1 กิโลกรัม ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้กากถั่วเหลืองทดแทนปลาป่นและมีการเสริมกรดอะมิโนเพื่อเพิ่มความเพียงพอต่อความต้องการของปลาสาวยจะสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้

2.2 คุณภาพเนื้อ

2.2.1 เพอร์เซ็นต์เนื้อส่วนที่กินได้ (edible flesh skin-fillet; เพอร์เซ็นต์)

ปลาสาวยที่ได้รับอาหารทดลอง เป็นเวลา 12 สัปดาห์ เมื่อนำมาศึกษาเปอร์เซ็นต์ซากของปลาสาวย โดยแยกออกเป็นเปอร์เซ็นต์เนื้อส่วนที่บริโภคได้ หัวและกระดูก อวัยวะภายใน และไขมัน ผลการศึกษาในตารางที่ 11 พบว่าเปอร์เซ็นต์เนื้อส่วนที่บริโภคได้เปอร์เซ็นต์หัวและกระดูก เพอร์เซ็นต์ของอวัยวะภายใน และไขมัน ในทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยเปอร์เซ็นต์เนื้อส่วนที่บริโภคได้ มีค่าอยู่ในช่วง 45.84-47.34 % หัวและกระดูกมีค่าอยู่ในช่วง 39.67-42.24% เพอร์เซ็นต์อวัยวะภายในมีค่าอยู่ในช่วง 5.60 – 6.22 % และปริมาณไขมันมีค่าอยู่ในช่วง 6.51-7.37 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปลาสาวยสามารถสังเคราะห์และนำโปรตีนจากอาหารไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงให้เห็นว่าปลามีการนำสารอาหารไปใช้ในการดำรงชีพและยังมีเหลือพอที่จะนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ซึ่งให้ค่าที่สอดคล้องกับการศึกษาของ รุ่งกานต์ (2552) ในการทดลองการทดแทนการใช้โปรตีนจากปลาป่นด้วยกากถั่วเหลืองในระดับต่างกันในการปลานิล ผลการทดลองพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 42.72- 44.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองทดแทนปลาป่นด้วยกากถั่วเหลือง 100 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อที่กินได้ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) จากอาหารทดลองควบคุม และอาหารที่ทดแทนปลาป่นในระดับที่ต่ำกว่า อาหารทดลองถึงแม้จะมีกากถั่วเหลืองในปริมาณที่สูงแต่ก็ไม่มีผลกระทบต่ อระบบการย่อยการดูดซึมสารอาหารในปลาสาวย โดยกากถั่วเหลืองในอาหารทดลองเป็นกากถั่วเหลืองที่ได้ผ่านความร้อนที่เหมาะสม ดังนั้น trypsin inhibitors ที่มีในกากถั่วเหลืองอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายและไม่มีผลกระทบกับปลาสาวย

2.2.2 แคลโรทีนอยด์รวมในเนื้อ

ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อปลาที่ได้รับอาหารชุดควบคุมมีค่า 0.54 มิลลิกรัม/กรัม เมื่อเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารชุดที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลัก มีค่า 0.90-1.81 มิลลิกรัม/กรัม ทั้งนี้เนื่องจากในอาหารที่มีกากถั่วเหลืองนั้นปลามีค่าไขมันสะสมในปริมาณที่ค่อนข้างมาก (5.82-7.37 เปอร์เซ็นต์) โดยแคโรทีนอยด์เป็นสารที่ละลายในไขมัน (Goodwin, 1984) จึงมีการสะสมแคโรทีนอยด์ในเนื้อเยื่อปลาที่มีไขมันปริมาณมาก อีกทั้งในอาหารที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลักจะมีการเติมน้ำมันถั่วในปริมาณที่สูงกว่าชุดควบคุม (ตารางที่ 8) ซึ่งในน้ำมันถั่วเหลืองจะมีแคโรทีนอยด์ 9.13 ไมโครโมล/กรัม (Slavin *et al.*, 2009) จึงทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อปลามีค่าสูง นอกจากนี้ในการศึกษาของ Tsushima *et al.* (2002) ในปลา catfish 12 ชนิด พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์จากบริเวณผิวหนังและครีบ มีค่าอยู่ในช่วง 0.1-2.3 มิลลิกรัม/100 กรัม โดยปลา *Silurus microdorsalis* มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุด ซึ่งมีค่าต่ำกว่าระดับแคโรทีนอยด์ในปลาสาวยที่ศึกษาในครั้งนี้ที่มีค่า 0.54-1.18 มิลลิกรัม/กรัม หรือ 54-118 มิลลิกรัม/100 กรัม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในอาหารทดลองที่ใช้เลี้ยงปลาสาวยในครั้งนี้มี DDGS เป็นส่วนประกอบ ซึ่ง DDGS เป็นผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากขบวนการผลิตเอทานอล จากข้าวโพด โดยในข้าวโพดจะมีปริมาณของแคโรทีนอยด์ในปริมาณสูง จากการศึกษานี้ของ Scott and Eldridge (2005) พบว่าในข้าวโพดสด มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 702.2 ไมโครกรัม/100 กรัม

2.2.3 ค่าดัชนีตับต่อตัว (hepatosomatic index)

ค่าดัชนีตับต่อตัวของปลาสาวยหลังจากที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 12 สัปดาห์ สิ้นสุดการทดลองพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ผลการศึกษาดังตารางที่ 11 ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 2.27-2.56 โดยในปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 (ไม่มีปลาปนด้วยกากถั่วเหลืองและเสริมกรดอะมิโนไลซีนมากกว่าความต้องการของปลา) ให้ค่าสูงที่สุด จากผลการศึกษาได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Requeni *et al.* (2004) ในการใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองทดแทนโปรตีนจากปลาปนในปลา gilthead sea bream ค่าดัชนีตับต่อตัวอยู่ในช่วง 1.23-1.38 เปอร์เซ็นต์ การศึกษาของ Kaushik *et al.* (1995) ในการใช้โปรตีนจากพืชทดแทนโปรตีนจากปลาปนในปลา rainbow trout ค่าดัชนีตับต่อตัวอยู่ในช่วง 1.7-2.0 เปอร์เซ็นต์ และต่อมา Kaushik *et al.* (2004) มีการศึกษาการใช้โปรตีนจากพืชทดแทนโปรตีนจากปลาปนในปลา European seabass ค่าดัชนีตับต่อตัวอยู่ในช่วง 2.1-2.5 เปอร์เซ็นต์ และเจด, 2552) ที่ได้ทดลองเลี้ยงปลานิลโดยใช้โปรตีนจากพืชทดแทนการใช้โปรตีนจากปลาปน เมื่อหาค่าดัชนีตับต่อตัว พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ดัชนีตับต่อตัว อยู่ในช่วง 2.14-2.62 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 11 แสดงคุณภาพเนื้อ ค่าดัชนีตับต่อตัว และปริมาณแคโรทีนอยด์รวมในเนื้อของปลาสวายที่ได้รับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)

พารามิเตอร์	อาหาร					P-value
	ชุดควบคุม	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	
	(5%FM)	0%FM (balance aa)	0%FM (over Lys)	0%FM (over Met)	0%FM (over Lys, Met)	
คุณภาพเนื้อ						
Fillet (Edible flesh; %)	46.1±1.21	45.84±2.56	47.13±0.43	47.34±0.52	45.96±1.27	0.595
Head and bone (%)	41.52±1.56	40.87±3.34	39.67±0.50	40.26±2.54	42.24±2.24	0.669
Viscera (%)	5.87±0.37	5.92±0.88	6.22±0.44	5.60±0.44	5.98±0.49	0.751
Abdominal fat (%)	6.51±1.10	7.37±0.75	6.98±0.71	6.80±0.95	5.82±1.06	0.373
Hepatosomatic index (%)	2.36±0.12	2.30±0.18	2.56±0.39	2.33±0.13	2.27±0.08	0.462
Total carotenoids (mg/g)	0.54±0.13 ^a	1.81±0.25 ^c	1.62±0.23 ^{bc}	0.90±0.18 ^a	1.29±0.23 ^b	0.000

2.3 การศึกษาสุขภาพปลา

2.3.1 ระดับโปรตีนทั้งหมดในเลือดปลา (total serum protein)

ผลของระดับโปรตีนในเลือดปลาสาวย แสดงในตารางที่ 12 พบว่าในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.37-0.44 กรัม/เดซิลิตร โดยมีค่าสูงในปลาสาวยที่กินอาหารทดลองสูตรที่ 4 (ไม่มีปลาป่นและเติมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนให้มากกว่าความต้องการ) และมีค่าต่ำในชุดการทดลองที่ 2 (ไม่มีปลาป่น เติมกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนเท่ากับความต้องการ) ดังตารางที่ 12 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขบวนการเมแทบอลิซึมของโปรตีนจากอาหารเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ปลาได้รับโปรตีนจากอาหารได้ ในระดับปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ใช้ปลาป่น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ เชิด (2552) ได้ทดลองทดแทนโปรตีนจากพืชทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในปลานิลที่มีระดับโปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาโปรตีนในเลือดพบว่า ปลานิลที่ได้รับอาหารที่ใช้โปรตีนจากปลาป่น 100 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าที่ไม่มีความแตกต่างจากปลานิลที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้กากถั่วเหลือง 100 เปอร์เซ็นต์

2.3.2 ระดับน้ำตาลในเลือด (blood glucose)

ผลของระดับน้ำตาลในเลือดปลาสาวย ในตารางที่ 12 พบว่าในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ค่าอยู่ในช่วง 79.33-92.33 มิลลิกรัม/เดซิลิตร โดยมีค่าสูงในปลาสาวยที่กินอาหารทดลองสูตรที่ 3 (ไม่มีปลาป่นและเติมกรดอะมิโนไลซีนให้มากกว่าความต้องการ) และมีค่าต่ำสุดในชุดการทดลองที่ 5 (ไม่มีปลาป่น เติมกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนมากกว่าความต้องการ) (ดังตารางที่ 12) แสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีของการย่อยคาร์โบไฮเดรตในวัตถุดิบอาหารปลาสาวยด้วยเอนไซม์จนได้น้ำตาล ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาระดับของกลูโคสในปลา gilthead sea bream โดย Requeni *et al.* (2004) ซึ่งศึกษาการทดแทนโปรตีนจากพืชแทนปลาป่นในระดับ 0, 50, 75, และ 100 เปอร์เซ็นต์ ค่ากลูโคสที่ได้อยู่ในช่วง 70-79 มิลลิกรัม/เดซิลิตร และในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่แตกต่างจากการทดลองของ เชิด (2552) ที่ได้ศึกษาระดับกลูโคสในเลือดปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองที่มีระดับการทดแทนโปรตีนจากปลาป่นด้วยพืชในระดับที่แตกต่างกัน โดยศึกษาพบว่าปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนจากปลาป่น 100 เปอร์เซ็นต์ให้ค่าที่สูงที่สุด คือ 57 มิลลิกรัม/เดซิลิตร และในปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีการทดแทนโปรตีนจากปลาป่นด้วยกากถั่วเหลือง 100 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าที่ต่ำ

กว่า คือ เท่ากับ 38.33 มิลลิกรัม/เดซิลิตร โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งจะเห็นว่าปลาแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการใช้ประโยชน์ของคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกัน แต่ทั้งนี้ในการเก็บเลือดปลาเพื่อวัดกลูโคส ระยะเวลาห่างจากการให้อาหารปลาที่มีผลต่อระดับค่ากลูโคส เพราะจากการศึกษาของ Requeni *et al.* (2004) ได้ศึกษาความแตกต่างของระยะเวลาหลังจากให้อาหาร 2 ช่วง คือ วัด 6 ชั่วโมงหลังจากให้อาหาร และทั้งช่วงเป็นเวลา 1 คืนหลังจากให้อาหาร ค่าปริมาณกลูโคสในเลือดที่ได้แตกต่างกัน คือระดับกลูโคสหลังให้อาหารปลา 6 ชั่วโมง ให้ค่าอยู่ในช่วง 70-79 มิลลิกรัม/เดซิลิตร แต่ปลาที่วัดโดยทั้งช่วงเป็นเวลา 1 คืน ให้ค่าที่ต่ำกว่า คือ 45-55 มิลลิกรัม/เดซิลิตร เพราะเมื่อปลาอดอาหารเป็นเวลานานระดับปริมาณกลูโคสจะลดต่ำลงเพราะมีการนำกลูโคสไปใช้ในเซลล์

2.3.3 ปริมาณไกลโคเจนในตับ (liver glycogen)

ปริมาณไกลโคเจนที่สะสมในเซลล์ตับของปลาสาวยที่ได้รับอาหารทดลองต่างกัน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสดงในตารางที่ 12 พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ปลาสาวยที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 (ไม่มีปลาป่น และเสริมกรดอะมิโนไลซีนมากกว่าความต้องการของปลา) และอาหารทดลองสูตรที่ 4 (ไม่มีปลาป่น และเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนมากกว่าความต้องการของปลา) ให้ค่าสูงใกล้เคียงกัน คือ 61.33 และ 54.03 mg glucose/g liver ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าปลาสาวยที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 5 (ไม่มีปลาป่น เติมกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนมากกว่าความต้องการของปลา) และในชุดควบคุม (ใช้โปรตีนจากปลาป่น 5 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งมีค่าต่ำ คือ 34.76 และ 40.97 mg glucose/g liver (ดังตารางที่ 12) โดยจะเห็นว่าปลาสาวยที่มีการใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองเป็นหลักจะมีการสะสมไกลโคเจนในปริมาณที่สูง (ยกเว้นในปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5) แสดงให้เห็นว่าปลาสาวยมีประสิทธิภาพในการย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ดี มีระดับกลูโคสที่เพียงพอ ทำให้มีไกลโคเจนสะสมไว้ในตับและกล้ามเนื้อ (เวียง, 2542) และนอกจากนี้กรดอะมิโนที่สูงเกินความต้องการของปลาจะถูกนำมาเก็บไว้ในรูปของไกลโคเจนในเซลล์ตับเพื่อไว้ใช้เป็นพลังงานสำรอง ทำให้ปริมาณไกลโคเจนในตับในปลาสาวยที่ได้รับอาหารชุดการทดลองที่ 3 และ 4 มีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารชุดอื่นๆ แต่ปลาที่ได้รับอาหารในชุดการทดลองที่ 5 มีค่าไกลโคเจนต่ำ อาจเนื่องมาจากปลาได้รับกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนในปริมาณที่มากกว่าความต้องการของปลาจนเกินไป ซึ่งอาจจะทำให้ขาดความสมดุลของการทำงานของระบบร่างกายได้

ตารางที่ 12 ค่าโลหิตวิทยา และไกลโคเจนในตับ ของปลาซายเมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)

พารามิเตอร์	อาหาร					P-value
	ชุดควบคุม	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	
	(5%FM)	0%FM (balance aa)	0%FM (over Lys)	0%FM (over Met)	0%FM (over Lys, Met)	
Total serum protein (g/dl)	0.39 $\pm$ 0.06	0.37 $\pm$ 0.04	0.40 $\pm$ 0.05	0.44 $\pm$ 0.04	0.41 $\pm$ 0.04	0.458
Blood glucose (mg/dl)	81.67 $\pm$ 14.15	85.00 $\pm$ 11.79	92.33 $\pm$ 4.51	82.67 $\pm$ 2.08	79.33 $\pm$ 18.82	0.725
Glycogen (mg glucose/g liver)	40.97 $\pm$ 4.05 ^{ab}	48.27 $\pm$ 2.68 ^{bc}	61.33 $\pm$ 6.12 ^d	54.03 $\pm$ 9.54 ^{cd}	34.76 $\pm$ 1.83 ^a	0.002

หมายเหตุ a, b, c, d อักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

2.4 คุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง แสดงในตารางที่ 12 พบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 6.53-6.62 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียรวมอยู่ในช่วง 0.24-0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรท์มีค่าอยู่ในช่วง 0.17-0.19 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าอยู่ในช่วง 7.49-7.61 และอุณหภูมิมีค่าอยู่ในช่วง 28.14-28.31 องศาเซลเซียส โดยทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และค่าคุณสมบัติของน้ำอยู่ในช่วงที่ไม่เป็นอันตราย หรือ ไม่ส่งกระทบต่อการดำรงชีวิตของปลาซาย และ ในช่วงการ ทดลอง คุณสมบัติของน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จึงทำให้ปลาไม่ได้รับผลกระทบจากคุณภาพน้ำ โดยไมตรี (2528) ได้รายงานว่าปลาในเขตร้อนจะชอบอาศัยอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิระหว่าง 25-32 องศาเซลเซียส และระดับปริมาณออกซิเจนที่ไม่เป็นอันตรายไม่ควรให้มีปริมาณต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร และ เกรียงศักดิ์ (2543) ได้รายงานค่าออกซิเจนที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ คือ อยู่ระหว่าง 5-8 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าหากต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้มีผลต่ออัตราการฟักของไข่ต่ำ ลง เจริญเติบโตช้า อ่อนแอ และติดเชื้อได้ง่าย ถ้าหากอยู่ในช่วง 0.1-2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ปลาตายได้ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ควรมีค่าระหว่าง 6.5-8 ถ้าหากน้ำมีความเป็นกรดจะทำให้ น้ำเชื้ออ่อนแอ สัตว์น้ำไม่สามารถเจริญได้ตามปกติ ปริมาณแอมโมเนียรวมและไนไตรท์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ คือไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร (โชคชัย, 2548)

ตารางที่ 13 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ปริมาณแอมโมเนีย ปริมาณไนโตรเจน ค่าความเป็นกรด เป็นด่างของน้ำ และอุณหภูมิ ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 12 สัปดาห์ (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)

คุณภาพน้ำ	อาหาร					P-value
	ชุดควบคุม (5%FM)	สูตร 2 0%FM (balance aa)	สูตร 3 0%FM (over Lys)	สูตร 4 0%FM (over Met)	สูตร 5 0%FM (over Lys, Met)	
ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/l)	6.53 $\pm$ 0.11	6.54 $\pm$ 0.09	6.62 $\pm$ 0.9	6.56 $\pm$ 0.05	6.60 $\pm$ 0.08	0.656
แอมโมเนียรวม (mg/l)	0.25 $\pm$ 0.02	0.26 $\pm$ 0.04	0.25 $\pm$ 0.02	0.24 $\pm$ 0.01	0.25 $\pm$ 0.03	0.854
ไนโตรเจน (mg/l)	0.18 $\pm$ 0.01	0.18 $\pm$ 0.02	0.19 $\pm$ 0.01	0.17 $\pm$ 0.02	0.18 $\pm$ 0.02	0.781
pH	7.49 $\pm$ 0.11	7.53 $\pm$ 0.09	7.58 $\pm$ 0.04	7.52 $\pm$ 0.19	7.61 $\pm$ 0.03	0.652
อุณหภูมิของน้ำ ($^{\circ}$ C)	28.17 $\pm$ 0.04	28.14 $\pm$ 0.25	28.31 $\pm$ 0.07	28.20 $\pm$ 0.05	28.18 $\pm$ 0.12	0.427

โดยสรุปคุณภาพของน้ำที่ใช้ระหว่างการทดลอง คือ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจน และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการเลี้ยงปลา

สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการทดลองที่ 1 ศึกษากิจกรรมเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารปลาซวาย และ ผลการทดลองที่ 2 ศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโต คุณภาพเนื้อและสุขภาพปลาซวาย สรุปได้ดังนี้

1. ในระบบทางเดินอาหารปลาซวายมีกิจกรรมเอนไซม์โปรติเอส อะไมเลส เซลลูเลส เพคติเนส และไลลาเนส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีความสำคัญต่อระบบการย่อยอาหาร โดยเฉพาะเอนไซม์เซลลูเลส เพคติเนส และไลลาเนส แม้มีในระดับต่ำสามารถย่อยสารที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช จึงทำให้ปลาซวายที่ได้รับอาหารปลาซวายที่มีกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลักได้รับผลกระทบต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต เปอร์เซ็นต์เนื้อส่วนที่กินได้เมื่อเปรียบเทียบกับปลาซวายที่ได้รับอาหารชุดควบคุมที่มีปริมาณกากถั่วเหลืองปริมาณน้อยกว่า

2. โปรตีนจากกากถั่วเหลืองสามารถทดแทนการใช้โปรตีนจากปลาป่นได้ 100 เปอร์เซ็นต์เมื่อมีการใช้กรดอะมิโนสังเคราะห์เสริมให้เพียงพอต่อความต้องการของปลาซวาย โดยไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์ได้ของอาหาร และในการศึกษาครั้งนี้อัตราการรอดตายให้ค่า 100 เปอร์เซ็นต์ในทุกชุดการทดลอง

3. ปลาซวายที่ได้รับอาหารที่มีการใช้กากถั่วเหลืองทดแทนปลาป่น 100 เปอร์เซ็นต์ และมีการเสริมกรดอะมิโนไลซีน หรือเมทไธโอนีน อย่างใดอย่างหนึ่งให้มีมากกว่าความต้องการปลาซวาย จะให้สมรรถภาพการผลิตดีกว่าปลาซวายที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่น 5 เปอร์เซ็นต์ และชุดที่ใช้กากถั่วเหลืองทดแทนปลาป่น 100 เปอร์เซ็นต์ เสริมกรดอะมิโนไลซีน และเมทไธโอนีนให้เท่ากับความต้องการ หรือเสริมกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนให้มากกว่าความต้องการ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งแสดงถึงปลาซวายสามารถนำสารอาหารไปใช้ได้อย่างเต็มที่

4. ค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อที่กินได้ และค่าดัชนีตับต่อตัวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งจะเห็นได้ว่าปลาซวายสามารถนำ กรดอะมิโนสังเคราะห์และ โปรตีนจากอาหารไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงให้เห็นว่าปลาซวายมีการนำสารอาหารไปใช้ในการดำรงชีพ และยังมีเหลือพอที่จะนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ค่าโปรตีนในเลือด และน้ำตาลในเลือด ในปลาซวายที่ได้รับอาหารทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ค่าไกลโคเจนที่สะสมในตับมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารในชุดที่มีการเติมไลซีน หรือ

เมทไธโอนีน มากกว่าความต้องการของปลามีค่าสูงสุดคือ 61.33 และ 54.03 mg glucose/g liver แสดงให้เห็นว่าปลาสาวยมีประสิทธิภาพในการย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ดี และปริมาณกรดอะมิโนที่สูงเกินความต้องการของปลาจะถูกนำมาเก็บไว้ในรูปของเป็นไกลโคเจน ในเซลล์ตับเพื่อไว้ใช้เป็นพลังงานสำรอง ปริมาณแคโรทีนอยด์รวมในเนื้อปลาสาวยมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ปลาสาวยที่ได้รับอาหารชุดควบคุมที่มีกากถั่วเหลืองน้อยกว่าชุดอื่นๆจะมีค่าแคโรทีนอยด์รวมน้อยกว่าชุดอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของน้ำมันถั่วเหลืองในอาหารและเปอร์เซ็นต์ไขมันในตัวปลา โดยปลาสาวยที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณกากถั่วเหลืองมากกว่าชุดควบคุม จะมีปริมาณการสะสมของแคโรทีนอยด์มากกว่า เนื่องจากในกากถั่วเหลืองและน้ำมันถั่วเหลืองมีสารสีแคโรทีนอยด์

5. ต้นทุนอาหารในการผลิตปลาสาวยให้ได้ 1 กิโลกรัม ในชุดการทดลองที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลักและเสริมกรดอะมิโนไลซีน หรือเมทไธโอนีนให้มากกว่าความต้องการของปลาสาวยจะให้มูลค่าต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าอาหารทดลองที่มีการใช้ปลาป่น โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษานี้สามารถนำสูตรอาหารไปผลิตเพื่อเลี้ยงปลาสาวย โดยปลาสาวยที่ได้รับอาหารในสูตรที่ 3 ซึ่งใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลักและมีการเสริมกรดอะมิโนไลซีนมากกว่าความต้องการของปลาสาวย จะมีต้นทุนต่ำที่สุดในการผลิตเพื่อให้ได้ปลาน้ำหนัก 1 กิโลกรัม โดยเกษตรกรสามารถผลิตอาหารใช้เองในระดับฟาร์ม และสามารถนำไปเป็นสูตรอาหารระดับเชิงพาณิชย์ได้

การเสริมกรดอะมิโนสังเคราะห์ไลซีน และเมทไธโอนีนในอาหารปลาสาวยที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลัก ควรมีการเสริมกรดอะมิโนในระดับที่มากกว่าความต้องการของปลาสาวย แต่จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเติมกรดอะมิโนทั้งไลซีนและเมทไธโอนีนมากกว่าความต้องการของปลา 15 และ 35 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จะทำให้สมรรถภาพการเจริญเติบโตน้อยกว่าเสริมอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษากรดอะมิโนในระดับที่เหมาะสมต่อไป ซึ่งควรเสริมให้มีปริมาณน้อยลง จะทำให้ต้นทุนค่าอาหารต่ำลง และอาจจะให้ผลการเติบโตที่ดีขึ้นดีกว่าการศึกษาในครั้งนี้

ปัจจุบันได้มีความพยายามในการเลี้ยงปลาสวยให้ได้เนื้อปลาที่มีสีขาว เพราะเป็นความต้องการของตลาด ดังนั้นกระบวนการผลิตจึงควรคำนึงถึงตั้งแต่การจัด หาวัตถุดิบ การจัดการ ระบบการเลี้ยง เพื่อให้สามารถได้ปลาสวยที่มีคุณภาพดีเป็นที่ต้องการของตลาดต่อไปได้



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมประมง. 2553. สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืด ประจำปี 2551. เอกสารฉบับที่ 7/2553. กลุ่มวิจัย และวิเคราะห์สถิติการประมง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 65 น.

เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน. 2543. หลักการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. ภาควิชาเทคโนโลยีการประมง, คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่. 199 น.

จรัญ จันทลักขณา. 2547. สถิติวิธีวิเคราะห์และวางแผนงานวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ.

จกมล พรหมยะ, เทพรัตน์ อึ้งเศรษฐพันธ์ และขจรเกียรติ แซ่ตัน. 2550. ผลของสาหร่ายสไปรูลิน่าสดต่อการเจริญเติบโต คุณค่าทางโภชนาการ และคาโรทีนอยด์ ของปลานิลแดง (*Oreochromis* sp.) วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง 1 (1): 30-41.

โชคชัย เหลืองธูปราณี. 2548. หลักการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. สำนักพิมพ์ โพธิ์เพชร, กรุงเทพฯ.

จันทกานต์ นุชสุข, อรุณ อิงคากุล, อุทัยวรรณ โกวิทวที และอรพินท์ จินตสถาพร. 2550. คุณลักษณะของเอนไซม์ย่อยอาหารในปลาสร้อยหนุระยะวัยอ่อน. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง 1 (2): 260-272.

เชิด แก้วมณี. 2552. การทดแทนปลาป่นด้วยโปรตีนพืชในอาหารปลานิลระยะอนุบาลต่อการเจริญเติบโต การจับถ่ายแอมโมเนีย และความต้านทานโรคหลังจากการขนส่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ. 2526. ขุมทางเกษตรฉบับการเลี้ยงปลา. อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 61 น.

ตการรณ สุขศรีแดง. 2550. ผลของกรดอะมิโนเมไทโอนีนสังเคราะห์ในรูปไฮดรอกซีอะนาโลคต่อ
สมรรถภาพการผลิตการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร เมแทบอลิซึมของลิพิด และการเกิด
โรคใน ascites ในไก่กระตงเพศผู้ ช่วงอายุ 1-42 วัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธีระชัย พงศ์จรรยากุล, ธนดล นวลจันทร์ และพิสมัย สมสืบ. 2551. การใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลือง
ทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในอาหารเลี้ยงปลาเทโพ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 28/2551.
ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดอุบลราชธานี สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด
กรมประมง. 24 น.

นิวัตร จันทรศิริพรชัย. 2552. ระบบภูมิคุ้มกันและการแปลผลซีรัมในสัตว์ปีก. สำนักพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 194 น.

ประยูร ลีलगามวงศ์. 2529. ทำไมจึงนำใช้ปลาป่นเป็นอาหารสัตว์ ปลาป่นสาร. 1 (3):37– 45.

ปราณี อ่านเปรื่อง. 2547. เอนไซม์ทางอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 442 น.

พรงาม ลีมตระกูล. 2541. ชีวิตเคมีของกรดนิวคลีอิกและโปรตีน. พิมพ์ครั้งที่ 2. ธนุขพรินต์
เชียงใหม่. 416 น.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัย
ทางการประมง. ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมสัตว์น้ำ สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 115 น.

รัชฎาภรณ์ ไชยพิศ. 2549. ผลของดีแอล-เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาโลคต่อสมรรถภาพการผลิต
เมแทบอลิซึมของไขมัน และการสะสมแร่ธาตุในไก่กระตงเพศผู้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รุ่งกานต์ กล้าหาญ. 2552. กิจกรรมของเอนไซม์ในระบบย่อยอาหาร ประสิทธิภาพการย่อยอาหาร และผลของการเสริมเอนไซม์ต่อการใช้ประโยชน์ของอาหารในปลานิล (*Oreochromis niloticus* L.). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลำพอง ทองปน. 2534. ลักษณะทางจุลกายวิภาคของระบบย่อยอาหารในปลาบึก (*Pangasiamodon gigas* Chevey). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรวิทย์ เกิดปราง. 2547. การเลี้ยงปลาน้ำจืดเศรษฐกิจ. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 72 น.

วิมล จันทรโรทัย, ประเสริฐ สัตตะสิทธิ์, ศิริมล ชุ่มสูงเนิน และสัมฤทธิ์ ชินมุข. 2535. อาหารที่ระดับโปรตีนต่างกันแต่พลังงานคงที่ต่อการเจริญเติบโต และไขมันสะสมในปลาสาวย. เอกสารวิชาการฉบับที่ 124. สถาบันวิจัยประมงน้ำจืด กรมประมง. 13 น.

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2536. อาหารปลา. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

เวียง เชื้อโพธิ์หัก. 2528. อาหารปลา. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 111 น.

เวียง เชื้อโพธิ์หัก. 2540. โภชนศาสตร์สัตว์น้ำและการให้อาหาร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เวียง เชื้อโพธิ์หัก. 2542. โภชนศาสตร์สัตว์น้ำ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศรีสกุล วรจันทรา และธณชัย สิทธิไกรพงษ์. 2539. โภชนศาสตร์สัตว์. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 216 น.

ศุภมาส ตันติภาสวสิน. 2538. การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับกรดอะมิโนกับระดับโปรตีนในกากถั่วเหลืองและปลาป่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุภรัตน์ จัตรจริยเวศน์, สมเกียรติ พงษ์ศิริจันทร์ และสมศักดิ์ เจนศิริศักดิ์. 2541. ความต้องการโปรตีนของปลาเทโพขนาดกลาง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2541. กองประมงน้ำจืด กรมประมง. 26 น.

สุภวรรณ ใจแสน. 2552. คู่มือการเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืดเศรษฐกิจ เล่ม 2. สำนักพิมพ์นาคา อินเตอร์มีเดียล. กรุงเทพฯ. 136 น.

สมศรี งามวงศ์ชน, วรพงษ์ นลินานนท์, สมบัติ สิงห์ศรี และ สุภรัตน์ จัตรจริยเวศน์. 2551. ระดับโปรตีนในอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาโมง (*Pangasius bocourti*, Sauvage, 1880). วารสารการประมง 61(6): 532-539.

สุดาวรรณ กาญจนวรกุล, อรพินท์ จินตสถาพร และประทีภย์ ตาบทพิยววรรณ. 2548. การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของปลาช่อน (*Channa striata*) Study on Digestive Enzyme Activity in Snakehead Fish (*Channa striata*), น. 105-107 ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43 (สาขาประมง สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2554. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2555 สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. อักษรสยามการพิมพ์. กรุงเทพฯ. 164 น.

อมรรัตน์ เสริมวัฒนากุล และบุษกร บำรุงธรรม. 2543. อาหารปลาสวยงาม. เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 1/2543. สถาบันวิจัยสัตว์น้ำสวยงามและสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำ กรมประมง. กรุงเทพฯ. 77 น.

อรพินท์ จินตสถาพร. 2553. อาหารสัตว์น้ำ. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 228 น.

อารี ฤทธิบูรณ์ และสุนันทา มีชนะ. 2548. การชักนำการกลายพันธุ์ การแยกและการหาสภาพที่เหมาะสมต่อการผลิตเอนไซม์ไลลาเนสของเชื้อราสายพันธุ์กลาย. **วารสารวิทยาศาสตร์ มข.** 33(1-2): 41-52.

Abboudi, T., M. Mambrini, W. Ooghe, Y. Larondelle and X. Rollin. 2006. Protein and lysine requirement for maintenance and for tissue accretion in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry. **Aquaculture** 262: 369-383.

Andrew, J. W. and J. M. Page. 1974. Growth factors in the fish meal component of catfish diets. **J. Nutr.** 104: 1091-1096.

Anwar, M. F. and A. K. Jafri. 1995. Effect of varying dietary lipid levels on growth, feed conversion, nutrient retention and carcass composition of catfish, *Heteropneustes fossilis*. **Asian Fish. Soc.** 8 (1): 55-62.

A.O.A.C. 2000. **Official Method of Analysis of the Association of the Official Analysis Chemis.** 17th eds., Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, Virginia. 1298 p.

Baker, D. H. and G. L. Czarneck. 1985. Transmethylation of homocysteine to methionine efficiency in the rat and chick. **Poult. Sci.** 115: 1291-1299.

Bernfeld, P. 1957. Enzymes of starch of starch degradation and synthesis. **Adv. Enzyme.** 12: 379-384.

Bicudo, A. J. A., R. Y. Sado and J. E. P. Cyrino. 2009. Dietary lysine requirement of juvenile pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). **Aquaculture** 297: 151-156.

Cowey, C. B. 1994. Amino acid requirements of fish: a critical appraisal of present values. **Aquaculture** 124: 1-11.

- Cowey, C. B. and M. J. Walton. 1989. **Intermediary metabolism. In Fish Nutrition.** Academic Press Inc, Washington D. C. 259-329 p.
- Deng, J., K. Mai, Q. Ai, W. Zhang, X. Wang, W. Xu and Z. Liufu. 2006. Effects of replacing fish meal with soy protein concentrate on feed intake and growth of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. **Aquaculture** 258: 503-513.
- FAO Fishery Statistic. 2012. แหล่งที่มา: www.fao.org/fishery/culturedspecies/Pangsius_hypophthalmus/en, 9 มีนาคม 2555.
- Gallanger, L. M. 1994. The use of soybean meal as a replacement for fish meal in diets for hybrid striped bass (*Morone saxatilis* X *M. chrysops*). **Aquaculture** 126: 119-127.
- Gaye-Siessegger, J., U. Focken, H. J. Abel and K. Becker. 2007. Influence of dietary non-essential amino acid profile on growth performance and amino acid metabolism of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). **Comparative Biochemistry and Physiology, Part A** 146: 71-77.
- Gertler, A., Y. Birk and A. Bondi. 1967. A comparative study of the nutritional and physiological significance of pure soybean trypsin inhibitors and of methanol-extracted soybean meal in chicks and rat. **J. Nutr.** 91: 323-331.
- Goodwin, T. W. 1984. The biochemistry of the carotenoids, vol. II animals. New York: Chapman and Hall.
- Hinton, D.E. and C.R. Pool. 1976. Ultrastructure of the liver in channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque). **J. Fish Biol.** 8: 209-219.

Hu, M., Y. Wang, Q. Wang, M. Zhao, B. Xiong, X. Qian, Y. Zhao and Z. Luo. 2008.

Replacement of fish meal by rendered animal protein ingredients with lysine and methionine supplementation to practical diets for gibel carp, *Carassius auratus gibelio*. **Aquaculture** 275: 260-265.

Huang, C. H. 2004. **Substituting De-hulled Soybean meal for Fish meal in diets for Hybrid Tilapia Rearing in water-Re-circulating system**. Aquaculture Nutrition
Department of Aquatic Biosciences National, Chiayi University, Taiwan.

Johann, C. and E. A. Lentini. 1971. Simultaneous determination of glycogen and lipid from heart muscle. *Analytical Biochemistry*. 43: 183-187.

Kaushik, S. J., J. P. Cravedi, J. P. Lalles, J. Sumpter, B. Fauconneau and M. Laroche. 1995.
Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **Aquaculture** 133: 257-274.

Kaushik, S. J., D. Coves, G. Dutto and D. Blanc. 1995. Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass, *Dicentrarchus labrax*. **Aquaculture** 230: 391-404.

Krogdahl, A., A. M. B. McKellep and G. Baeverfjord. 2003. Effects of graded levels of standard soybean meal on intestinal structure, mucosal enzyme activities, and pancreatic response in Atlantic salmon (*Salmon salar* L.). **Aquac. Nutr.** 9: 361-379.

Hauler, R. C. and C. G. Carter. 2001. Revaluation of the quantitative dietary lysine requirements of fish. **Reviews Fish. Sci.** 9: 133-163.

- Hiramoto, K., T. Muramatsu and J. Okumura. 1990. Effect of methionine and lysine deficiencies on protein synthesis in the liver and oviduct and in the whole body of laying hens. **Poult. Sci.** 69: 84 – 89.
- Jonas, E., M. Ragyanszki, J. Olah and L. Boross. 1983. Proteolytic digestive enzymes of carnivorous (*Silurus glanis* L.), herbivorous (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) and omnivorous (*Cyprinus carpio* L.) fishes. **Aquaculture** 30: 145-154.
- Krogdahl, A. and H. Holm. 1983. Pancreatic protease from man, trout, rat, pig, cow, chicken, mink and fox onzyme activities and inhibition by soybean and lima bean proteinase inhibitors. **Comp. Biochem. Physiol.**, 74B: 403-409
- Lemieux, H., P. and Blier, J. D. Dutill. 1999. Do digestive enzymes set a physiological limit on growth rate and food conversion efficiency in the Atlantic cod (*Gadus morhua*). **Fish Physiol. Biochem** 20: 293-303.
- Lin, S. and L. Luo. 2011. Effect of different levels of soybean meal inclusion in replacement for fish meal on growth, digestive enzymes and transaminase activities in practical diets for juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. **J. Animal Feeds and Technology**.
- Lowry, OH., N. J. Rosebrough, A.J Farr and R.J. Randall. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. **J. Biol. Chem** 193: 265-275.
- Manning, M. J. and M. S. Mughal. 1985. Factors affecting the immune response of immature fish, In A.E Ellis (ed.). **Fish and Shellfish Pathology**. Academic Press, London. pp. 27-40.
- Miller, G. L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical. **Chemistry** 31: 426-428.

- Murai, T., Y. Hirasawa, T. Akiyama and T. Nose. 1983. Effects of dietary pH and electrolyte concentration on utilization of crystalline amino acid by fingerlings carp. **Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.** 49: 1377-1380.
- NRC. 1993. **Nutrient Requirements of fish.** National Academy Press, Washington, D. C. 115 p.
- Peres, H. and Teles, A. O. 2005. The effect of dietary protein replacement by crystalline amino acid on growth and nitrogen utilization of turbot *Scophthalmus maximus* juveniles. **Aquaculture** 250: 755-764.
- Philip, J. S. 1970. Poultry: Feeds and Nutrition. Connecticut: The AVI Publishing Company. Inc. pp. 325-329.
- Requeni, G. P., M. Mingarro, J. A. C. Giner, F. Medale, S. A. M. Martin, D. F. Houlihan, S. Kaushick and J. P. Sanchez. 2004. Protein growth performance, amino acid utilization and somatotropic axis responsiveness to fish meal replacement by plant protein sources in gilthead sea bream (*Sparus auratus*). **Aquaculture** 232: 493-510.
- Rumsey, G. L. and H. G. Ketola. 1975. Amino acid supplementation of casein in diets of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) fry and of soybean meal for Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) fingerlings. **J. Fish. Res. Bd. Can.** 32: 422-426.
- Saidy, E. and M. M. A. Gaber . 2002. Complete Replacement of Fish Meal by soybean meal with Dietary L-Lysine Supplementation for Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) Fingerlings. **Journal of the world Aquaculture Society** 33: 297-306.
- Sandell, L. and J. C. Daniel. 1988. Effect of ascorbic acid on RNA levels in short term chondrocyte culture. Connect. **Tissue Res.** 17: 11-12.

- Sa'-Pereira, P., M. Costa-Ferrera and D. E. Eveleigh. 2002. Enzymatic properties of a neutral endo-1,3(4)- β -xylanase Xyl II from *Bacillus subtilis*. **J. Biotechnol** 94: 265-275.
- Scott, M. L., M. C. Nesheim and R. J. Young. 1982. **Nutrition of the chicken**. 3rd. Ithaca N. Y. 562p.
- Scott, C. E. and A. L. Eldridge, 2005. Comparison of carotenoid content in fresh, frozen and canned corn. **Journal of Food Composition and Analysis** 18: 551-559.
- Shiau, S., C. Kwok, J. Kwang, C. Chen and S. Lee. 1989. Replacement of fishmeal with soybean meal in male tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) fingerling diets at suboptimal protein level. **J. World Aquac. Soc.** 20: 230-235.
- Slavin, M., Z. Cheng, M. Luther, W. Kenworthy and L. L. Yu. 2009. Antioxidant properties and phenolic, isoflavone, tocopherol and carotenoid composition of Maryland-grown soybean lines with altered fatty acid profiles. **Food Chemistry** 114: 20-27.
- Smith, H. M. (1945) The Fresh-water fishes of Siam or Thailand Dept. Fish, Bangkok, p. 357-369.
- Takashima, F. and T. Hibiya. 1995. **An atlas of fish histology**. 2nd ed. Kodansha LTD., Japan.
- Thu, T. T. N., C. Parkouda, A. D. Saeger. 2007. Comparison of the lysine utilization in different plant protein sources supplemented with L-lysine.HCl in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. **Aquaculture** 272: 477-488.
- Tibaldi, E., Y. Hakim, Z. Uni, F. Tulli, M. d. Francesco, U. Luzzana and S. Harpaz. 2006. Effects of the partial substitution of dietary fish meal by differently processed soybean meals on growth performance, nutrient digestibility and activity of intestinal brush border enzymes in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). **Aquaculture** 216: 182-193.

- Tsushima, M., Y. Ikuno, S. Nagata, K. Kodama and T. Matsuno. 2002. Comparative biochemical studies of carotenoids in catfishes. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B** 133 : 331–336
- Villasante, V. F., I. Fernandez, R. M. Preciado, M. Oliva, D. Tova and H. Nolasco. 1999. The activity of digestive enzyme during the molting the molting stage of the arched swimming *Callinectes Arcatus* orday. 1863. (Crustacea: decapoda: portunidae). **Bulletin of marine Science**. 65(1):1-9.
- Viola, S., S. Mokady, and Y. Arieli. 1983. Effects of soybean processing methods on the growth of carp (*Cyprinus carpio*). **Aquaculture** 32: 27-38.
- Walton, M. J., C. B. Cowey, and J. W. Adron. 1984. The effect of dietary lysine levels on growth and metabolism of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) Br. **J. Nutr** 52: 115-122.
- Wang, Y., L. J. Kong, C. Li and D. P. Bureau. 2006. Effect of replacing fish meal with soybean meal on growth, feed utilization and carcass composition of cuneate drum (*Nibea miichthioides*). **Aquaculture** 261: 1307-1313.
- Waldrouo, P. W., C. J. Mabray, J. R. Blackman, P. J. Slagter, R. J. Short and Z. B. Johnson. 1981. Effectiveness of the free acid of methionine hydroxyl analogue as a methionine supplement in broiler diets. **Poult. Sci.** 60: 438-443.
- Webster, C. D., J. H. Tidwell, L. S. Goodgame, D. H. Yancey and L. Mackey. 1992. Use of soybean meal and distillers grains with soluble as partial or total replacement of fish meal in diets for channel catfish, *Ictalurus punctatus*. **Aquaculture** 106: 301-309.
- Wilson, R. P., 1989. Amino acids and proteins. In: J.E. Halver (Editor), Fish Nutrition, 2nd edn. Academic Press, New York, pp. 111-151.

Wolf, W. J. and J. C. Cowan. 1971. **Soybean as a food source**. CRC. Monopics Series. London and Butterworths: The chemical Rubber Co.

Yuan, Y. C., S. Y. Gong, H. J. Yang, Y. C. Lin, D. H. Yu and Z. Luo. 2011. Effects of supplementation of crystalline or coated lysine and/or methionine on growth performance and feed utilization of Chinese sucker, *Myxocyprinus asiaticus*. **Aquaculture** 316: 31-36.

Zarate, D. D and R. T. Lovell. 1997. Free lysine (L-lysine HCl) is utilized for growth less efficiently than protein-bond lysine (soybean meal) in practical diets by young channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Aquaculture** 159: 87-100.



การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ

วิธีการวิเคราะห์หาความชื้น (AOAC, 2000)

1. เตรียม drying pan โดยอบในตู้อบ (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำไปใส่ใน desiccators ทิ้งไว้ให้เย็น 30 นาที
2. นำ drying pan ไปชั่งและบันทึกน้ำหนัก
3. ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ใน drying pan บันทึกน้ำหนักรวมของ drying pan และตัวอย่าง
4. นำ drying pan และตัวอย่างไปอบใน hot air oven ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง
5. นำ drying pan และตัวอย่าง ใส่ใน desiccators ทิ้งไว้ให้เย็นนาน 30 นาที แล้วนำไปชั่งและบันทึกน้ำหนัก
6. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{(B-C) \times 100}{B-A}$$

โดยที่ A : น้ำหนัก drying pan

B : น้ำหนัก drying pan และตัวอย่างอาหารก่อนอบ

C : น้ำหนัก drying pan และตัวอย่างอาหารหลังอบ

วิธีการวิเคราะห์หาเถ้า

1. เตรียม crucible โดยอบใน hot air oven ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที นำไปใส่ใน desiccators ทิ้งไว้ให้เย็น
2. นำ crucible ไปชั่ง และบันทึกน้ำหนัก
3. ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ใน crucible บันทึกน้ำหนัก crucible และตัวอย่าง
4. นำ crucible พร้อมตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง
5. เมื่อครบ 6 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเตาเผา จากนั้นนำไปใส่ใน desiccators นาน 30 นาที แล้วนำไปชั่ง และบันทึกน้ำหนัก

6. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ได้จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ได้} = \frac{(B-C) \times 100}{B-A}$$

โดยที่ A : น้ำหนัก crucible

B : น้ำหนัก crucible และตัวอย่างอาหารก่อนอบ

C : น้ำหนัก crucible และตัวอย่างอาหารหลังอบ

วิธีการวิเคราะห์หาโปรตีน

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.3 กรัม ใส่ใน digestion tube
2. เติม catalyst mixed ที่มีส่วนผสมของ selenium อยู่ด้วยประมาณ 10 กรัม
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงในหลอดย่อย 10 มิลลิลิตร
4. นำไปย่อยที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 30-45 นาที จนสังเกตเห็นเป็นสารละลายใส
5. ทิ้งให้เย็นประมาณ 20 นาที
6. เตรียมกรดบอริก 2 เปอร์เซ็นต์ 80 มิลลิลิตรในขวดลูกชมพู่ หยด mixed indicator (methyl red + bromocresol green) 2-3 หยด นำไปตั้งที่เครื่องกลั่นให้ปลายหลอดกลั่นจุ่มในสารละลาย
7. นำหลอดตัวอย่างใส่ในเครื่องกลั่น เติมน้ำ 30 มิลลิลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32 เปอร์เซ็นต์ 70 มิลลิลิตร ใช้เวลากลั่นประมาณ 3-4 นาที สารละลายกรดบอริกจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมฟ้า
8. นำสารละลายที่กลั่นได้ไปไตเตรตด้วย 0.1 N H_2SO_4 จนได้สารละลายสีชมพู บันทึกปริมาณที่ใช้
9. ทำ bank โดยใช้ น้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ในขวดลูกชมพู่ หยด mixed indicator 2-3 หยด นำไปไตเตรตด้วย 0.1 N H_2SO_4 จนได้สารละลายสีชมพู บันทึกปริมาณที่ใช้
10. คำนวณหาค่าไนโตรเจนจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} = \frac{(V_2 - V_1) \times N \times F \times 1.4}{W}$$

โดยที่ N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกที่ใช้ (0.1 N)

F = factor ของกรดซัลฟูริก ได้จากการ standardization กับ
Tris-buffer

V_1 = ปริมาณของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรต blank

V_2 = ปริมาณของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง

11. นำเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่ได้คูณด้วยค่า Empirical factor คือ 6.25 จะได้ค่า
เปอร์เซ็นต์โปรตีนของตัวอย่าง

วิธีวิเคราะห์หาไขมัน

1. อบ extraction beaker ในตู้อบที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้นนาน 1.5-3 ชั่วโมง
2. ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์ อบและชั่งซ้ำ 1-2 ครั้งจนได้น้ำหนักที่คงที่
3. ชั่งตัวอย่าง 3 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรองอย่างหลวม ๆ
4. ใส่ตัวอย่างใน thimbles
5. เติมนิโตรเลียมอีเทอร์ ลงใน extraction beaker
6. ตั้งบีกเกอร์ในเครื่องมีวิเคราะห์ไขมันทิ้งไว้ประมาณ 1-1.5 ชั่วโมง จนนิโตรเลียมอีเทอร์ ในหลอดสกัดไขมันใส เก็บนิโตรเลียมอีเทอร์ ลงในถังเก็บ สกัดจนนิโตรเลียมอีเทอร์ ในบีกเกอร์เกือบหมดจึงปิดเครื่อง
7. นำบีกเกอร์ที่มีไขมันอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น
8. ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์ที่มีไขมัน
9. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} = \frac{(B-A) \times 100}{W}$$

โดยที่ W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

A = น้ำหนัก extraction beaker

B = น้ำหนัก extraction beaker และไขมันที่สกัดได้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} = \frac{(B-A) \times 100}{W}$$

โดยที่ W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

A = น้ำหนัก extraction beaker

B = น้ำหนัก extraction beaker และไขมันที่สกัดได้

วิธีการวิเคราะห์เยื่อใย

วิธีการวิเคราะห์เยื่อใยแบบ gravimetric (classical fiber) method

หลักการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยในตัวอย่างอาหารที่ต้องการวิเคราะห์โดยใช้กรดอ่อนและด่างอ่อนด้วยการละลายสารอินทรีย์ส่วนที่สัตว์สามารถย่อยได้ออกจากตัวอย่าง (NFE) ส่วนที่เหลือคือสารอินทรีย์ส่วนที่ย่อยไม่ได้ (เยื่อใย) และสารอนินทรีย์ นำส่วนที่เหลือไปเผาแล้ว จะได้ปริมาณสารอินทรีย์ที่มีในตัวอย่าง ปริมาณสารอินทรีย์ที่หายไปจากการเผาในเตา คือ ปริมาณเยื่อใยในตัวอย่าง

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ต้มกรดซัลฟูริก 0.128 M ประมาณ 1 ลิตร
ต้มน้ำกลั่นให้ร้อน ประมาณ 1.5 ลิตร
ต้มด่าง KOH 0.223 M ประมาณ 1 ลิตร
2. ชั่งตัวอย่าง (W) น้ำหนัก 0.5 กรัม ใส่ใน crucible stand
3. นำ crucible ใส่ในเครื่องย่อย (hot extraction unit)
4. เติมกรดซัลฟูริกร้อน 0.128 M 150 มิลลิลิตร ต้มตัวอย่างจนเดือด แล้วจับเวลา ประมาณ 45-60 นาที

5. กรองสารจนแห้งด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง ครั้งละ 30 มิลลิลิตร กรองจนแห้ง
6. เติม KOH ที่ร้อน 0.223 M 150 มิลลิลิตร ต้มจนเดือดจนเวลา 30 นาที กรองแล้วล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง
7. นำ crucible ออกจากเครื่องย่อย ไปอบที่ 130 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน desiccators ชั่งน้ำหนัก (W_1)
8. เผาตัวอย่างใน crucible ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเตาเผาจนเหลืออุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นำ crucible ไปใส่ desiccator ทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนัก (W_2)
9. คำนวณปริมาณเชื้อไขจาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์เชื้อไข} = [(W_1 - W_2)/W] \times 100$$

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในเลือดโดย Lowry's Method

การเตรียมสารเคมีสำหรับวิเคราะห์โปรตีน (Lowry' Reagent)

1. Solution I : เตรียมจาก A: B: C (100: 1: 1) โดยผสม B กับ C ก่อน ดังนี้

ผสม solution B 0.5 ml + solution C 0.5 ml แล้วเติม solution A 50 ml

❖ Solution A: 2% Sodium carbonate

Sodium carbonate 20 g + 30 ml 0.1 N NaOH + distill water 950 ml

❖ Solution B: 1% CuSO₄

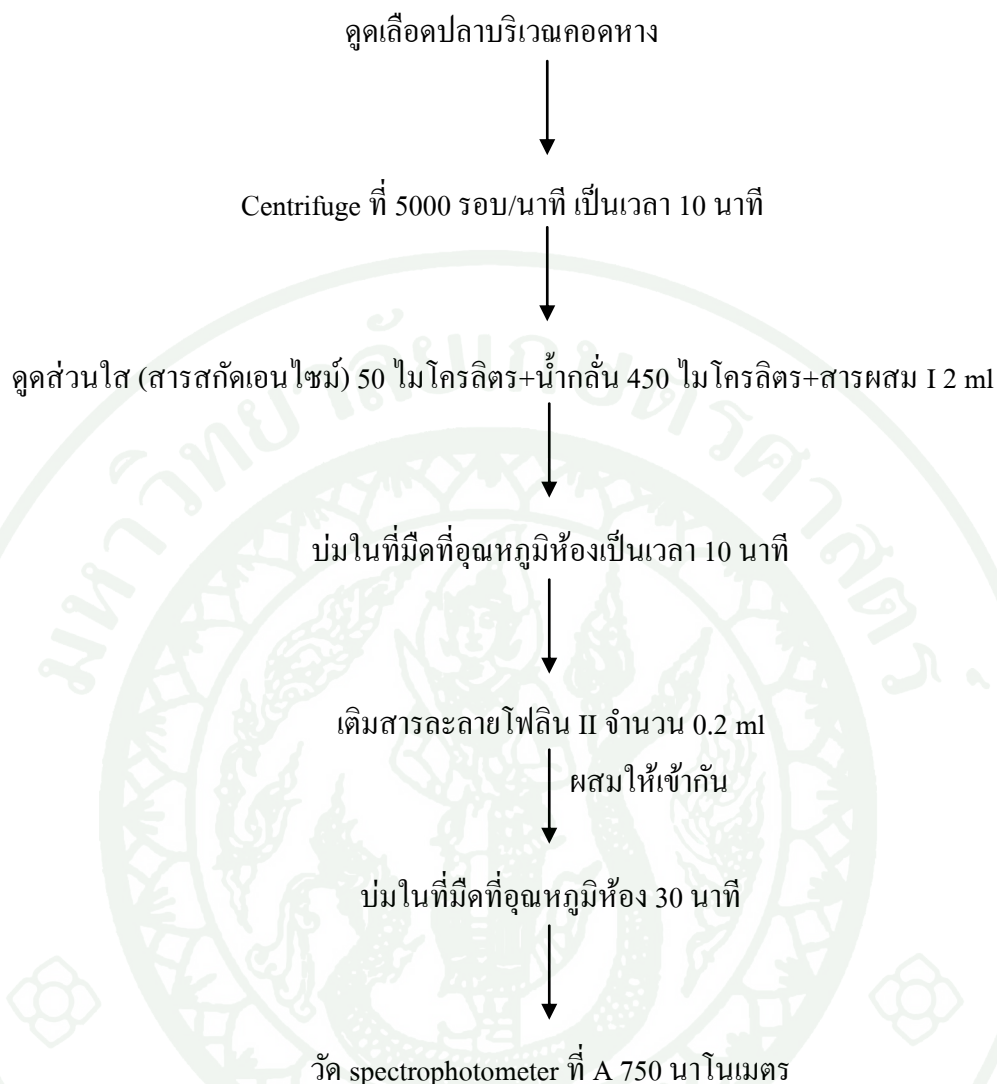
CuSO₄.5F₂O 1 g + distill water 100 ml

❖ Solution C: 2% Sodium potassium tatrte

Sodium potassium tatrte 2 g + distill water 100 ml

2. Solution II : Follin-Ciocalteau reagent ที่ใช้ใน lowry' method จะเป็น folin: distillwater (1 : 1)

ขั้นตอนการวิเคราะห์



การเตรียมตัวอย่าง blank : น้ำกลั่น 500 ไมโครลิตร + solution I จำนวน 2 ml

การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ชั่ง BSA 10.0 mg (Bovine serum albumin) ต่อน้ำ 10 ml
2. เตรียม standard BSA โดยเติมสารดังตารางแล้วเติมสารผสม I จำนวน 2 ml ที่ทิ้งไว้ในที่มืด 10 นาที เติมสารละลาย folin 1:1 จำนวน 2 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที วัดที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร

Standard curve of BSA

หลอดที่	ความเข้มข้น โปรตีน(mg/ml)	ปริมาตร BSA 1.0 mg/ml (μ l)	น้ำกลั่น(μ l)	รวมปริมาตร	ปริมาตรที่ใช้
1	0	0	500	500	500
2	0.1	50	450	500	500
3	0.2	100	400	500	500
4	0.3	150	350	500	500
5	0.4	200	300	500	500
6	0.5	250	250	500	500
7	0.6	300	200	500	500
8	0.7	350	150	500	500
9	0.8	400	100	500	500
10	0.9	450	50	500	500
11	1	500	0	500	500

การวิเคราะห์ปริมาณไกลโคเจนในตับ ตามวิธีการของ (Johann and Lentini, 1971)

การวิเคราะห์ปริมาณไกลโคเจนในตับ (liver glycogen; mg glucose/ml) ควรเก็บตัวอย่าง
ตับมาวิเคราะห์ทันที หากจำเป็นต้องเก็บตัวอย่างไว้ควรแช่เย็นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

อุปกรณ์และวิธีการ

- 1 นำเนื้อเยื่อตับมาเติม trichloro acetic acid (TCA) 5% แล้วนำไป homogenize 2 นาที ที่
ความเร็วรอบ 1,600 rpm
- 2 นำไป centrifuge ที่ความเร็วรอบ 3,000 rpm นาน 5 นาที (ทำ 2 ครั้ง)
- 3 ดูดส่วนใสมา 200 – 1000 ไมโครลิตร แล้วเติม TCA 1 มิลลิลิตร และ 95% ethanol 5
มิลลิลิตร

- 4 นำไปอบใน oven ที่อุณหภูมิ 37-40 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
- 5 นำไป centrifuge ที่ความเร็วรอบ 3,000 rpm นาน 15 นาที แล้วเติมน้ำเดือด 0.5 มิลลิลิตร กรดซัลฟิวริกเข้มข้น และ 5 % phenol อย่างละ 5 มิลลิลิตร
- 6 นำไปอ่านค่าด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร

วิธีการวิเคราะห์เอนไซม์

การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ Protease (azocasein)

1. นำเอนไซม์ที่สกัดแล้ว 20 ไมโครลิตร เติม 1 % azocasein 250 ไมโครลิตร pH 6-8
2. บ่มที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที
3. หยุดปฏิกิริยาด้วย 10% TCA จำนวน 1.2 ml
4. Centrifuge 12000 rpm 15 นาที
5. เก็บส่วนใส 1.0 ml แล้วเติม 1 M NaOH 1.4 ml
6. วัดที่ความยาวคลื่น 440 nm

การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ Amylase

1. นำเอนไซม์ที่สกัดแล้ว 20 ไมโครลิตร เติมสารละลายแป้ง 250 ไมโครลิตร pH 6-8
2. บ่มที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที
3. หยุดปฏิกิริยาด้วยการเติม 1% DNS 250 ไมโครลิตร (3,5-dinitrosalicylic acid)
4. ต้มในน้ำเดือด 5 นาที
5. เติมน้ำกลั่น 1.5 ml
6. วัดที่ความยาวคลื่น 550 nm

หมายเหตุ: การเตรียมซับสเตรตสำหรับเอนไซม์ Amylase : solution 1% starch soluble
เตรียมจำนวน 10 ml: ชั่งแป้ง 0.1 กรัม เติม pH buffer 6-8 นำไปอุ่นในน้ำเดือด 10 ml และเติม mM NaCl 60 ไมโครลิตร

การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ cellulase

1. เอนไซม์ที่สกัดแล้ว 20 ไมโครลิตร เติมสารละลาย CMC 250 ไมโครลิตร pH 6-8 (carboxyl methyl cellulose)
2. บ่มที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที
3. หยุดปฏิกิริยาด้วยการเติม 1% DNS 250 ไมโครลิตร (3,5-dinitrosalicylic acid)
4. ต้มในน้ำเดือด 5 นาที
5. เติมน้ำกลั่น 1.5 ml
6. วัดที่ความยาวคลื่น 540 nm

หมายเหตุ: การเตรียมซับสเตรตสำหรับเอนไซม์ cellulase : solution 1% CMC
เตรียมจำนวน 10 ml: ชั่ง CMC 0.1 กรัม เติม pH buffer 6-8 10 ml

การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ pectinase

1. เอนไซม์ที่สกัดแล้ว 20 ไมโครลิตร เติมสารละลาย pectin 250 ไมโครลิตร pH 6-8 (carboxyl methyl cellulose)
2. บ่มที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที
3. หยุดปฏิกิริยาด้วยการเติม 1% DNS 250 ไมโครลิตร (3,5-dinitrosalicylic acid)
4. ต้มในน้ำเดือด 5 นาที
5. เติมน้ำกลั่น 1.5 ml
6. วัดที่ความยาวคลื่น 540 nm

หมายเหตุ: การเตรียมซับสเตรตสำหรับเอนไซม์ pectinase: solution 1% pectin soluble
เตรียมจำนวน 10 ml: ชั่ง pectin 0.1 กรัม เติม pH buffer 6-8 10 ml

การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ xylanase

1. เอนไซม์ที่สกัดแล้ว 20 ไมโครลิตร เติมสารละลาย xylane 250 ไมโครลิตร pH 6-8 (carboxyl methyl cellulose)
2. บ่มที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที

3. หยุดปฏิกิริยาด้วยการเติม 1% DNS 250 ไมโครลิตร (3,5-dinitrosalicylic acid)
4. ต้มในน้ำเดือด 5 นาที
5. เติมน้ำกลั่น 1.5 ml
6. วัดที่ความยาวคลื่น 540 nm

หมายเหตุ: การเตรียมซบสเตรทสำหรับเอนไซม์ xylanase: solution 1% xylane soluble
เตรียมจำนวน 10 ml: ชั่ง xylane 0.1 กรัม เติม pH buffer 6-8 10 ml

วิธีวิเคราะห์ total carotenoids

1. นำเนื้อปลาสดเป็นชิ้นเล็กๆ และชั่งประมาณ 0.5 กรัม
2. เติม HATE 20 ml และเติม salt NaCl 2 ml
3. sonicate 15 นาที ในที่เย็นและมีด
4. เติม NaSO₄ anhydrous 1 ช้อนชา หรือเติมจนกระทั่งตะกอนด้านล่างรวมเคลื่อนที่เป็นก้อนเดียวกัน
5. นำส่วนใสด้านบนวัดด้วย spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 470 nm

Total carotenoids = (Abs*156)

หมายเหตุ: HAET คือ อัตราส่วนของสารสกัด Hexane 17: Acetone 6: Ethanol 7

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวกฤษณา เตะตัน
เกิดวันที่	11 มีนาคม 2519
สถานที่เกิด	อำเภอท่าแพ จังหวัดสตูล
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ประมง) มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ตำแหน่งปัจจุบัน	นักวิชาการประมง
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-