ผลของการใช้กากสาโทเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกในอาหารปลาสวายโมง

นางสาวกาญจนา ทวีวรรณบูลย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2559

EFFECTS OF RICE WINE RESIDUAL AS AN ALTERNATIVE PROTEIN SOURCE IN THE DIET OF THAI PANGA

Kanjana Taveewannaboon

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Science in Animal Production Technology

Suranaree University of Technology

Academic Year 2016

ผลของการใช้กากสาโทเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกในอาหารปลาสวายโมง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

____

(อ. ดร.วิทธวัช โมพี)

ประธานกรรมการ

____

(อ. ดร.สมร พรชื่นชูวงศ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

____

(รศ. ดร.โชคชัย วนภู)

กรรมการ

____

(รศ. ดร.อมรรัตน์ โมพี)

กรรมการ

____

(ผศ. น.สพ. ดร.ภคนิจ คุปพิทยานันท์)

กรรมการ

____

(ผศ. ดร.สุทิศา เข็มผะกา)

กรรมการ

____

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

____

(ศ. ดร.หนึ่ง เตียอำรุง)

คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

กาญจนา ทวีวรรณบูลย์ : ผลของการใช้กากสาโทเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกในอาหารปลาสวายโมง (EFFECTS OF RICE WINE RESIDUAL AS AN ALTERNATIVE PROTEIN SOURCE IN THE DIET OF THAI PANGA) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.สมร พรชื่นชูวงศ์, 82 หน้า.

การศึกษาผลของการใช้กากสาโทเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกในอาหารปลาสวายโมงโดยใช้ปลาสวายโมงที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 220.38 กรัม เลี้ยงในกระชังทดลองขนาด 1×1×1.5 เมตร จำนวน 40 ตัวต่อกระชัง ทำการเลี้ยงเพื่อปรับสภาพให้คุ้นเคยกับสภาพการทดลองเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ จากนั้นเลี้ยงด้วยอาหารทดลองที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนและพลังงานเท่ากันทุกสูตร โดยมีโปรตีนเท่ากับ 320 กรัมต่อกิโลกรัม และพลังงาน 15.00 กิโลจูลต่อกรัม อาหารทดลองมีทั้งหมด 6 สูตร (ทรีทเมนต์) ประกอบด้วยอาหารที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารที่ระดับ 10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ (D10 D20 D30 และ D40) และมีอาหารกลุ่มควบคุม 2 กลุ่ม ได้แก่ อาหารสูตรทางการค้า (CA) และอาหารสูตรที่ผลิตขึ้นเองที่ไม่มีการใช้กากสาโท (CB) ทำการเลี้ยงปลาสวายโมงเป็นระยะเวลา 10 เดือน พบว่า การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับ 10-30 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักสุดท้าย (Final weight) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain) และอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (DGR) สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า ($P<0.05$) ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทในระดับที่เพิ่มสูงขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตต่ำที่สุด ($P<0.05$) ปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับ 10-30 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีการกินได้ (feed intake) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (FE) และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) ไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม (CA และ CB) ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทในระดับที่เพิ่มสูงขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำที่สุด ($P<0.05$) จากการศึกษานี้ พบว่า การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงไม่มีผลต่อค่าดัชนีน้ำหนักตับ (HSI) และอัตราการรอดในปลาสวายโมง ($P>0.05$) สูตรอาหารที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ ไม่มีผลกระทบต่อความสูงของวิลไลและจำนวน goblet cells ในลำไส้ส่วน Foregut และ Midgut ในขณะที่การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในระดับที่เพิ่มสูงขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ความสูงของวิลไลในลำไส้ส่วน Foregut และ Midgut ลดลง ($P<0.05$) การทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทไม่มีผลกระทบต่อค่าโลหิตวิทยา ค่าชีวเคมีในเลือด และการตอบสนองต่อภูมิคุ้มกัน ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับ D20-D40 มีผลทำให้ค่า cholesterol ในเลือดต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปลากลุ่มควบคุม (CA และ CB; $P<0.05$) นอกจากนี้การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง พบว่า ไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาและเนื้อปลา ($P>0.05$) และการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารมีผลทำให้เนื้อปลาสวายโมงมีค่าความขาว (Whiteness) และค่า breaking force ของเนื้อปลาสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA; $P<0.05$) อีกทั้งสูตรอาหารที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ ไม่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษา (Drip loss)

หลังการทำให้สุก (Cook loss) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเนื้อปลาสวายโมง (P>0.05) จากผลการทดลองสรุปได้ว่า สามารถใช้กากสาโทชดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงได้ถึงระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร สุขภาพของปลา และคุณภาพเนื้อปลา อีกทั้งยังมีต้นทุนค่าอาหารถูกที่สุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนักศึกษา__________

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา__________

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม__________

KANJANA TAVEEWANNABOON : EFFECTS OF RICE WINE RESIDUAL AS AN ALTERNATIVE PROTEIN SOURCE IN THE DIET OF THAI PANGA. THESIS ADVISOR: SAMORN PONCHUNCHOOVONG, Ph.D., 82 PP.

RICE WINE RESIDUAL/THAI PANGA/FISHMEAL/GROWTH PERFORMANCE/BLOOD CHEMICAL/IMMUNE RESPONSE

This study was conducted to evaluate the effects of rice wine residual (RWR) as an alternative protein source in the diet of Thai Panga (*Pangasianodon hypophthalmus*×*Pangasius bocourti*). Thai Panga juveniles with an average initial weight of 220.38 g were randomly stocked in cages (1×1×1.5 m^3) at a density of 40 fish per cage. Fish were acclimated to the experimental environment for a week. Six experimental diets were formulated to provide isonitrogenous (320 g/kg) and isocaloric (15.00 kJ/g) diets, by increasing RWR levels to replace 10%, 20%, 30% and 40% of dietary fishmeal. The control groups were fed a commercial diet (CA) and a basal diet without RWR (CB). Fish were reared for 10 months. The replacement of RWR from D10 to D30 yielded a higher final weight, weight gain and daily growth rate (DGR) than the commercial diet (CA; P<0.05), while the replacement RWR 40% yielded the lowest growth performance (P<0.05). The feed intake, feed conversion ratio (FCR), feed efficiency (FE) and protein efficiency ratio (PER) obtained from D10 to D30 were not significantly different from both control groups (CA and CB), while fish fed with the D40 diet yielded the lowest feed efficiency (P<0.05). The replacement of fishmeal by RWR had no negative effects on the hepatosomatic index (HSI) and survival rate of Thai Panga (P>0.05). Dietary treatments did not affect foregut, midgut villi height and the number of goblet cells, while fish fed with the D40 diet yielded the lower foregut

and midgut villi height than the others treatments (P<0.05). Dietary treatments did not affect blood haematology, blood chemicals or immune response (P>0.05). The replacement of fishmeal with RWR from D20 to D40 had lower cholesterol levels than that of the control groups (P<0.05). The replacement of fishmeal by RWR did not affect the whole body composition and fish fillet (P>0.05). The whiteness and breaking force in fillets from the groups fed with replaced fishmeal by RWR diets were significantly higher than those of the commercial diet (CA). In addition, dietary treatments did not affect drip loss, cook loss and pH in fillets of Thai Pànga (P>0.05). The results of this study showed that RWR can replace up to 30% of fishmeal with no adverse effects on growth performance, feed efficiency, immune response and meat quality, and is the cheapest feed cost.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Animal Production Technology	Student's Signature Kanjana Taveewannaboon
Academic Year 2016	Advisor's Signature Samorn P.
	Co-advisor's Signature Sutisa Khempaka

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับทุนสนับสนุนจาก "สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 2556 ร่วมกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี" อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินการวิจัยจากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ขอขอบพระคุณ อ.ดร.สมร พรชื่นชูวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำปรึกษาแนะนำ ช่วยเหลือ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ อีกทั้งช่วยทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ และนอกจากนี้ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ทุกท่าน ที่ช่วยอบรมสั่งสอน คอยแนะนำ และให้ความรู้ทางด้านวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ห้างหุ้นส่วนจำกัด สัมฤทธิ์มั่นคง ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์มอบกากสาโทที่นำมาใช้ในการดำเนินการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณสุนัย พลายมี หัวหน้างานสัตว์น้ำ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และพนักงานประมงทุกท่าน และเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกท่าน ขอขอบคุณพี่น้องบัณฑิตศึกษาทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยและให้กำลังใจมาโดยตลอด

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา ทุกคนในครอบครัวซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

กาญจนา ทวีวรรณบูลย์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)....ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)....ค

กิตติกรรมประกาศ....จ

สารบัญ....ฉ

สารบัญตาราง....ฌ

สารบัญภาพ....ฎ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ....ฏ

บทที่

1 บทนำ....1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา....2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา....2

1.4 ขอบเขตของการศึกษา....3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ....3

2 ปริทัศน์และวรรณกรรมงานที่เกี่ยวข้อง....4

2.1 ชีววิทยาของปลาสวายโมง....4

2.2 สภาวะการเลี้ยงปลาสวายโมงในปัจจุบัน....6

2.3 ความต้องการโปรตีนของปลา....7

2.4 กากสาโท....9

2.5 ผลของการใช้ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทดแทนปลาป่นในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของสัตว์และปลา....12

2.6 ผลของการใช้ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทดแทนปลาป่นในอาหารต่อลักษณะสัณฐานวิทยาของลำไส้....16

2.7 ผลของการใช้ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทดแทนปลาป่นในอาหารต่อระบบภูมิคุ้มกันของปลา....17

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8 ผลของการใช้ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทดแทนปลาป่นในอาหารต่อคุณภาพเนื้อของปลา 19
3 **วิธีการดำเนินการวิจัย** 21
3.1 สถานที่ทำการทดลอง 21
3.2 วิธีการศึกษา 21
3.2.1 การเตรียมปลาทดลอง 21
3.2.2 การเตรียมอาหารทดลอง 21
3.2.3 การเตรียมกระชัง 25
3.2.4 การให้อาหารและการเก็บข้อมูล 26
3.2.5 การเก็บตัวอย่างเลือดปลา 27
3.2.6 การวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยา 27
3.2.7 การวิเคราะห์ค่าชีวเคมีในโลหิต 30
3.2.8 การวิเคราะห์การตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ 31
3.2.9 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ 32
3.2.10 การเก็บตัวอย่างเนื้อปลา 33
3.2.11 การวิเคราะห์ทางสถิติ 36
4 **ผลการศึกษาและอภิปรายผล** 37
4.1 ผลของการใช้กากสาโทนทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ 37
4.2 ผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อค่าโลหิตวิทยา ค่าชีวเคมีของโลหิต และการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันของปลา 44
4.3 ผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา เนื้อปลา และคุณภาพเนื้อของปลา 48
5 **สรุปและข้อเสนอแนะ** 52

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง 53
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก อุปกรณ์ และสารเคมี 66
ภาคผนวก ข ตารางแสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของสมรรถนะการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ ค่าโลหิตวิทยา ชีวเคมีในโลหิต ระบบภูมิคุ้มกัน และคุณภาพเนื้อปลา ด้วยโปรแกรม SPSS 71
ประวัติผู้เขียน 82

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 สถิติการนำเข้าปลากลุ่ม Catfish แช่แข็งของประเทศสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรป 7

2.2 แสดงความต้องการโปรตีนของปลาในกลุ่ม Catfish ที่มีขนาดต่างกัน.................................. 9

2.3 ผลของการใช้ by-product จากอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ทดแทนปลาป่นในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของสัตว์และปลา.............................. 14

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ใช้ในการสร้างสูตรอาหารทดลอง 22

3.2 ส่วนผสมของวัตถุดิบอาหารและองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองที่มีการใช้ กากสาโททดแทนปลาป่นในสูตรอาหารต่างกัน 5 ระดับ (0 10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์)... 23

3.3 องค์ประกอบกรดอะมิโนที่จำเป็น ฟอสฟอรัส และแคลเซียมของกากสาโทและปลาป่น 24

3.4 แคลเซียม ฟอสฟอรัส และองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นในอาหารทดลอง ที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ กัน (10 20 30 และ 40เปอร์เซ็นต์) 25

4.1 สมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาสวายโมงที่ได้รับ อาหารที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 10 เดือน 41

4.2 ส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหารและต้นทุนค่าอาหารของปลาสวายโมงที่เลี้ยงด้วยอาหาร ทดลองทั้ง 6 สูตร 42

4.3 ค่าโลหิตวิทยาและค่าชีวเคมีของโลหิตของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่มีการใช้กากสาโท ทดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 10 เดือน.. 46

4.4 องค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัวที่ได้รับอาหารที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่น ที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) หลังการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 เดือน.............. 50

4.5 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาที่ได้รับอาหารที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) หลังการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 เดือน 50

4.6 ผลการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ต่อค่าสี และความขาวของเนื้อปลาสวายโมงสด (Fillet color and Whiteness).. 51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.7 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาและการทำให้สุก ลักษณะเนื้อสัมผัส และความเป็นกรด-ด่างของเนื้อปลาสวายโมงที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) 51

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 ปลาสวายโมง 4
2.2 ผลผลิตรวมทั้งหมดของปลากลุ่ม Catfish ในปี2012-2015 6
2.3 ราคาการส่งออกของปลากลุ่มCatfish ของตลาดโลกในปี 2007-2014 7
2.4 แสดงขั้นตอนในการผลิตสาโท 11
2.5 กากสาโท 11
3.1 กระชังที่ใช้สำหรับในการเลี้ยงปลาสวายโมง 25
3.2 แสดงพื้นที่การนับเม็ดเลือดแดง (R) และเม็ดเลือดขาว (W) 28
3.3 ปริมาตรเลือดทั้งหมด และปริมาตรเม็ดเลือดแดงอัดแน่นใน
microhaematocrit capillary tube ที่ผ่านการปั่นเหวี่ยง 30
3.4 เนื้อปลาสวายโมงแล่ (fillet) ด้านซ้ายและด้านขวา 33
3.5 เครื่อง Texture analyzer ใช้สำหรับวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อปลา 34
3.6 เครื่องมือวัดสีเนื้อปลาและค่าความขาวของเนื้อปลา 35
4.1 ผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อความสูงของ
วิลไล (a) และจำนวน goblet cell (b) ในส่วนของลำไส้เล็กของปลาสวายโมงที่
ได้รับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 10 เดือน 43
4.2 ผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อการตอบ
สนองต่อระบบภูมิคุ้มกัน ได้แก่ Alternative complement activity (a)
lysozyme activity (b) และ total Immunoglobulin (c) 47

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ACH50	=	Alternative complement activity
BUN	=	Blood urea nitrogen
CA	=	อาหารเม็ดสำเร็จรูปสูตรทางการค้า
CB	=	อาหารที่ผลิตขึ้นเองโดยไม่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่น
D10	=	อาหารที่ผลิตขึ้นเองโดยทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโท 10 เปอร์เซ็นต์
D20	=	อาหารที่ผลิตขึ้นเองโดยทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโท 20 เปอร์เซ็นต์
D30	=	อาหารที่ผลิตขึ้นเองโดยทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโท 30 เปอร์เซ็นต์
D40	=	อาหารที่ผลิตขึ้นเองโดยทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโท 40 เปอร์เซ็นต์
DE	=	Digestibility energy
DGR	=	Daily growth rate
FCR	=	Feed conversion ratio
FE	=	Feed efficiency
HSI	=	Hepatosomatic index
MCH	=	Mean corpuscular haemoglobin
MCHC	=	Mean corpuscular haemoglobin concentration
MCV	=	Mean corpuscular volume
NFE	=	Nitrogen free extract
PER	=	Protein efficiency ratio
RBC	=	Red blood cells count
RWR	=	Rice wine residual (กากสาโท)
SGR	=	Specific conversion ratio
WBC	=	White blood cells count

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันปลาสวายโมง (Thai Panga) จัดเป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจตัวใหม่ของประเทศไทย โดยมีการส่งเสริมให้เกษตรกรในจังหวัดนครพนมเลี้ยงเพื่อการส่งออก ซึ่งเป็นปลาลูกผสมที่เกิดจากพ่อพันธุ์ปลาโมง (*Pangasius bocourti*) กับแม่พันธุ์ปลาสวาย (*Pangasianodon hypophthalmus*) และเนื่องด้วยคุณสมบัติของเนื้อปลาที่มีสีขาว รสชาติอร่อย และมีไขมันต่ำ จึงเป็นที่ต้องการของตลาดในประเทศแถบยุโรปโดยจะส่งออกกันมากในรูปของเนื้อแล่ (fillet) ทำให้มีการส่งเสริมการเลี้ยงปลาชนิดนี้กันอย่างแพร่หลาย (อรรณพ อิ่มศิลป์ และณรงค์ศักดิ์ ศิริชัยพันธุ์, 2550) โดยทั่วไปเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้อาหารเม็ดปลาดุกในการเลี้ยง เนื่องจากไม่มีอาหารเม็ดสำหรับปลาสวายโมง อีกทั้งปลาสวายโมงใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงนานกว่าปลาดุก ซึ่งปลาดุกใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงประมาณ 5 เดือน ได้น้ำหนัก 620 กรัม (De Graaf and Janssen, 1996; Egware and Orewa, 2014) ส่วนปลาสวายโมงใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงนาน 8 เดือน ถึงได้น้ำหนัก 700 กรัม (สุวิภา จรจันทึก, 2553; Islam, 2005) จึงทำให้ต้นทุนทางด้านอาหารเพิ่มสูงขึ้น โดยทั่วไปโภชนะประเภทโปรตีนถือเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญที่สุดในการเพิ่มผลผลิต (Hardy, 1996) ซึ่งอาหารปลาส่วนใหญ่นิยมใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลักในการผลิตอาหารปลา เนื่องจากปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพ มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ มีกรดอะมิโนที่จำเป็น ประสิทธิภาพในการย่อยได้และความน่ากินสูง อีกทั้งยังเป็นแหล่งของกรดไขมันที่จำเป็นและแร่ธาตุ (NRC, 1993; Korkmaz and Cairogullari, 2011) แต่มักมีข้อจำกัดทางด้านราคาค่อนข้างสูง (FAO, 2004; New and Wijkström, 2002) จึงทำให้ต้นทุนทางด้านอาหารสูงตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้การศึกษาเพื่อลดต้นทุนค่าอาหารจึงน่าจะเป็นประโยชน์โดยตรงสำหรับเกษตรกร

สาโทเป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่นิยมมากในหลายพื้นที่ของประเทศไทย โดยทำมาจากข้าวซึ่งใช้หัวเชื้อแห้งที่เรียกว่าลูกแป้งประกอบไปด้วยราและยีสต์เป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการหมัก (Liu, He, Wang and Pan, 2007) ปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตสาโทเพิ่มสูงขึ้นทุก ๆ ปี ทั้งในแบบการผลิตสาโทแบบดั้งเดิมประมาณ 225 แห่ง และแบบเชิงพาณิชย์ประมาณ 5,764 แห่ง (Techakriengkri and Surakarnkul, 2007) โดยกระบวนการหมักเหมือนกับสาเกและไวน์ชนิดอื่น ๆ ซึ่งขั้นตอนแรกจะเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลโดยการผลิตเอนไซม์อะไมเลสจากเชื้อรา และขั้นตอนที่สองน้ำตาลจะถูกเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์โดยกระบวนการหมักของยีสต์ (Chuenchomrat, Assavanig and Lertsiri, 2008) หลังจากที่แยกของเหลวออกส่วนที่เหลือเรียกว่า กากสาโท ซึ่งเป็นผลพลอยได้ (by-product) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสาโทและไม่ได้นำไปใช้ต่อส่งผลทำให้ปริมาณกากสาโทเพิ่มสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำกากสาโทมาใช้ เนื่องจากในกากสาโทนั้น มีแหล่งโปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโน และวิตามิน

(Tsutsui, Yamamoto and Iwami, 1998; Vechklang, Boonanuntanasarn, Ponchunchoovong, Pirarat and Wanapu, 2011) อีกทั้งยังมีราคาถูกกว่า (10 บาทต่อกิโลกรัม) เมื่อเทียบกับราคาปลาป่นมีราคา (30-40 บาทต่อกิโลกรัม)

จากผลการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการทดลองนำเอากากสาโทมาใช้ทดแทนปลาป่นในอาหารสัตว์ (Sugiura, Yamatani, Watahara and Onodera, 2009) และในปลานิล (Vechklang *et al*., 2011) จากการรายงานของ Tsutsui *et al.* (1998) พบว่า หนูที่ได้รับอาหารที่มีการใช้กากสาโทที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม เช่นเดียวกับ Manabe, Shobayashi, Kurosu, Sakata, Fushiki and Iefuji (2004) พบว่า สามารถใช้กากสาโททดแทนปลาป่นได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของหนู และจากการศึกษาของ Izu *et al.* (2006) แสดงให้เห็นว่า สาเกยีสต์ *(Saccharomyces cerevisiae)* เป็นหนึ่งในวัตถุดิบหลักของกากสาเกที่สามารถลดความเสียหายของตับจากแอลกอฮอล์ในหนูได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Vechklang *et al.* (2011) ได้มีการนำกากสาโทมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลานิลวัยอ่อน พบว่า การใช้กากสาโทที่ระดับ 22.5 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต สุขภาพของปลา และลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ของลูกปลานิลวัยอ่อน ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำกากสาโทมาเป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ ค่าโลหิตวิทยา ชีวเคมีในโลหิต ระบบภูมิคุ้มกัน และคุณภาพเนื้อของปลา

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาผลของการใช้กากสาโทเป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในสูตรอาหารปลาสวายโมงต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ ค่าโลหิตวิทยา ชีวเคมีในโลหิต ระบบภูมิคุ้มกัน และคุณภาพเนื้อของปลา

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การใช้กากสาโทมีความเหมาะสมสำหรับเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกเพื่อทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในสูตรอาหารปลาสวายโมง โดยจะมีผลทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ ค่าโลหิตวิทยา ชีวเคมีในโลหิต ระบบภูมิคุ้มกัน และคุณภาพเนื้อไม่แตกต่างจากการใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารปลาสวายโมง

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

การวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นเพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสมในการใช้กากสาโทเป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง โดยเริ่มนำลูกปลาสวายโมงขนาดประมาณ 220.38 กรัม มาเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 เดือน หลังสิ้นสุดการทดลองทำการประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ ค่าโลหิตวิทยา ชีวเคมีในโลหิต ระบบภูมิคุ้มกัน และคุณภาพเนื้อของปลาสวายโมง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ทราบถึงระดับที่เหมาะสมในการใช้กากสาโทเป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง และสามารถนำกากสาโทมาใช้เป็นวัตถุดิบแหล่งโปรตีนทางเลือกสำหรับใช้ในอาหารปลาสวายโมงได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาสูตรอาหารสำหรับการเลี้ยงปลาสวายโมง นำไปสู่การลดต้นทุนทางด้านค่าอาหารสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตอาหารปลา ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรโดยตรง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีววิทยาของปลาสวายโมง (Thai Panga)

ปลาสวายโมงเป็นปลาน้ำจืดที่เกิดจากการผสมข้ามสายพันธุ์ระหว่างแม่พันธุ์ปลาสวาย (*P. hypophthalmus*) กับพ่อพันธุ์ปลาโมง (*P. bocourti*) ปลาสวายโมงเป็นปลาที่จัดอยู่ในกลุ่ม catfish ดังแสดงในภาพที่ 2.1 ซึ่งอยู่ในตระกูลเดียวกับปลาสวาย ลักษณะเด่นของปลาสวายโมง คือ เป็นปลาเนื้อขาว มีรสชาติดี และมีไขมันต่ำ ทำให้เป็นที่นิยมของผู้บริโภคในต่างประเทศ อีกทั้งยังสามารถผลิตลูกปลาได้ในจำนวนที่มากกว่า และมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าปลาโมงพันธุ์แท้ ดังนั้นประเทศไทยจึงสนับสนุนให้มีการเลี้ยงปลาสวายโมงเพื่อการส่งออกไปยังประเทศสหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป เพื่อทดแทนกับความต้องการของตลาดปลาเนื้อขาว (สุญาณีพร ตุลยพงศ์รักษ์ ปัทมา ระตะนะอาพร และจิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร, 2551) และส่งเสริมให้มีการเลี้ยงอย่างแพร่หลายในบริเวณแม่น้ำโขง โดยเฉพาะที่จังหวัดนครพนม ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการเลี้ยงปลาโมงมากที่สุดของประเทศ (จูอะดี พงศ์มณีรัตน์ พิชญา ชัยนาค ทวี จินดามัยกุล และชูศักดิ์ บริสุทธิ, 2549)

ภาพที่ 2.1 ปลาสวายโมง

การเพาะพันธุ์ปลาสวายโมงนั้น สามารถทำได้โดยตั้งแต่การคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ ในช่วงฤดูผสมพันธุ์ระหว่างเดือนมีนาคม-เมษายน ซึ่งใช้พ่อพันธุ์ปลาโมงที่มีน้ำหนักประมาณ 3.5 กิโลกรัม ที่สมบูรณ์พันธุ์เต็มที่สังเกตจากเมื่อใช้มือบีบที่ช่องเพศเบา ๆ จะมีน้ำเชื้อสีขาวไหลออกมา จากนั้นนำปลาโมงเพศผู้ที่สมบูรณ์เพศ และแข็งแรง มาทำการฉีดฮอร์โมน โดยใช้ฮอร์โมนสังเคราะห์ Suprefact ในอัตรา 20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับ Motilium ในอัตรา 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยฉีดใต้ครีบ

หลังเหนือเส้นข้างลำตัวลำตัว (สมร พรชื่นชูวงศ์ อรรณพ อิ่มศิลป์ และสมบัติ สิงห์สี, 2553) ส่วนแม่พันธุ์ปลาสวายมีน้ำหนักประมาณ 3 กิโลกรัม ที่มีความสมบูรณ์เพศเต็มที่จะสังเกตได้จากบริเวณช่องเพศจะมีลักษณะบวมแดง ท้องอูมเป่งเห็นได้ชัดเจน พื้นท้องนิ่ม หรือโดยวิธีการใช้สายยางเล็ก ๆ ดูดไข่ออกมาและคัดเลือกไข่ที่มีความสมบูรณ์ ถ้าพบว่าไข่มีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอก็สามารถนำมาฉีดฮอร์โมนซึ่งจะทำการฉีดฮอร์โมนจำนวน 2 เข็ม เข็มแรกฉีดเพื่อกระตุ้นการพัฒนาของไข่ โดยใช้ฮอร์โมนสังเคราะห์ Suprefact ในอัตรา 10 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับ Motilium 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังจากนั้น 10 ชั่วโมง จึงฉีดเข็มที่ 2 เพื่อกระตุ้นการตกไข่ โดยใช้ Suprefact ในอัตรา 30 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับ Motilium 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากนั้น 6-8 ชั่วโมง จึงทำการรีดไข่และน้ำเชื้อ โดยใช้ขนไก่ที่สะอาดคนไข่และน้ำเชื้อผสมกัน เพื่อทำการผสมเทียมแห้งแบบดัดแปลง (Modified dry method) และนำไข่ที่ผสมกับน้ำเชื้อไปฟักในโรงเพาะฟักที่มีระบบน้ำหมุนเวียน (สมร พรชื่นชูวงศ์ สุพรรณ ขันน้ำเที่ยง สุรชัย ภาสดา สุคนธา เลขะพันธ์รัตน์ นิศารัตน์ ปุณณารักษ์ และนฤพล สุขุมาสวิน, 2550)

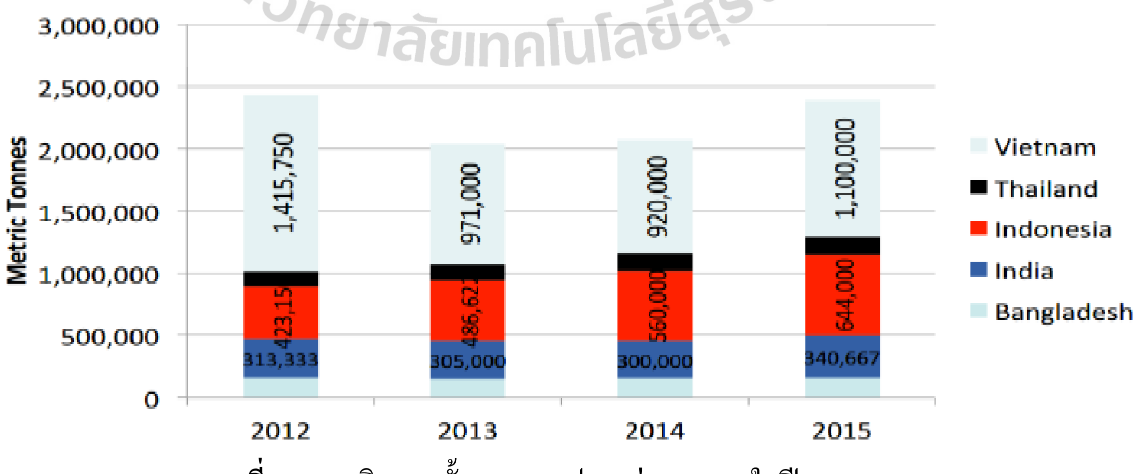
ในการอนุบาลลูกปลาสวายโมงสามารถทำได้ 3 รูปแบบ คือ 1) การอนุบาลในรางระบบน้ำหมุนเวียน โดยปล่อยลูกปลาสวายโมงอายุ 3 วัน ในรางสังกะสีขนาด 0.30×0.30×0.25 เมตร ที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร อัตราการหมุนเวียนของน้ำ 4 ลิตรต่อนาที และมีการให้อากาศตลอดเวลา (สุภาพ แก้วละเอียด อุดมชัย อาภากุลอนุ บรรจง จำนงศิตธรรม และอายุวัฒน์ นิลศรี, 2554) 2) การอนุบาลในบ่อซีเมนต์กลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร สูง 80 เซนติเมตร ระดับน้ำเริ่มอนุบาลสูง 40 เซนติเมตร (ปริมาตรน้ำ 1,260 ลิตร) โดยปล่อยลูกปลาสวายโมงอายุ 3 วัน ในอัตราการปล่อยเริ่มแรก 12 ตัวต่อลิตร และเมื่ออนุบาลเป็นเวลา 10 วัน ลดอัตราความหนาแน่นลงเหลือ 8 ตัวต่อลิตร โดยการเพิ่มระดับน้ำเป็น 60 เซนติเมตร (ปริมาตรน้ำ 1,880 ลิตร) (เดชา รอดระรัง และศิริภรณ์ โคตรมี, 2550) และ 3) การอนุบาลลูกปลาสวายโมงขนาด 1 นิ้ว ในกระชังขนาด 2×2×1.5 เมตรในบ่อดินขนาด 800 ตารางเมตรที่มีน้ำลึก 1.5 เมตร ก้นกระชังลึกจากระดับผิวน้ำ 1 เมตร โดยใช้อัตราความหนาแน่น 600 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร (2,400 ตัวต่อกระชัง) (นงเยาว์ มณี และทิพย์สุดา ต่างประโคน, 2551)

การให้อาหารลูกปลาสวายโมง ความถี่ในการให้อาหารหรือจำนวนครั้งการให้อาหารต่อวัน มีความสำคัญมาก เนื่องจากลูกปลามีลำไส้สั้น ย่อยอาหารเร็วทำให้มีความต้องการอาหารบ่อย ดังนั้นการให้อาหารควรให้ 4-5 ครั้งต่อวัน และควรมีระยะห่างระหว่างมื้อเท่าๆกัน ส่วนปริมาณการให้อาหารควรพอดีกับความต้องการของปลาไม่มากหรือน้อยเกินไป ดังนั้นการอนุบาลลูกปลาสวายโมงควรให้ความสำคัญของการอนุบาลในช่วง 10 วันแรกเป็นพิเศษโดยให้อาหารผงสำเร็จรูปที่มีโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ และควรให้ไรแดงมีอยู่ในบ่ออนุบาลตลอดเวลา จะช่วยให้ลูกปลามีความสม่ำเสมอและมีอัตราการรอดสูงขึ้น (เดชา รอดระรัง และศิริภรณ์ โคตรมี, 2550) เมื่อลูกปลาอายุได้ 21-35 วัน ควรให้อาหารชนิดเม็ดที่มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 32 เปอร์เซ็นต์ จะได้ลูกปลาขนาด 1 นิ้ว เมื่อลูกปลาอายุ 35-60 วัน จะได้ลูกปลาขนาด 3 นิ้ว และลูกปลาอายุ 60-90 วัน จะได้ขนาดลูกปลาขนาด 5 นิ้ว ซึ่งสามารถนำมาเลี้ยงในกระชังได้ โดยปล่อยปลาสวายโมงที่อัตราความหนาแน่น 600 ตัวต่อกระชัง ซึ่งมีอัตราการรอด

ร้อยละ 70 ใช้ระยะเวลาเลี้ยงปลาสวายโมง 8 เดือนต่อรอบ จะได้ปลาสวายโมงขนาดน้ำหนักตัวเฉลี่ย 0.7 กิโลกรัม (สุวิภา จรจันทึก, 2553) และเมื่อเลี้ยงปลาสวายโมงเป็นเวลา 2 ปี พบว่าปลาสวายโมงจะมีน้ำหนัก 3 กิโลกรัม ความยาว 150 เซนติเมตร (lslam, 2005)

2.2 สภาวะการเลี้ยงปลาสวายโมงในปัจจุบัน

ปริมาณผลผลิตรวมทั้งหมดของปลากลุ่ม Catfish ซึ่งเป็นตระกูลเดียวกับปลาสวายโมง ส่วนใหญ่อยู่ในทวีปเอเชียที่ได้รับการเพาะเลี้ยงมากที่สุด จากข้อมูลในปี 2012-2015 มีรายงานว่า ประเทศที่มีปริมาณผลผลิตของปลากลุ่ม Catfish มากที่สุด ได้แก่ เวียดนาม อินโดนีเซีย อินเดีย บังกลาเทศ และไทย ตามลำดับ (ดังแสดงในภาพที่ 2.2) ปริมาณผลผลิตของปลากลุ่ม Catfish ที่ได้มาจากการเพาะเลี้ยงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 จนถึงปี พ.ศ. 2552 เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของตลาดสำหรับผู้บริโภค โดยกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป และสหรัฐอเมริกาซึ่งเป็นตลาดใหญ่ที่มีความต้องการเพื่อการบริโภคและนำมาทดแทนปลา Halibut ซึ่งมีคุณลักษณะของเนื้อสีขาว ก้างน้อย และไขมันต่ำ และปริมาณการนำเข้าปลากลุ่ม Catfish ของสหรัฐอเมริกาและกลุ่มสหภาพยุโรป พบว่า ในปี พ.ศ. 2548 มีการนำเข้าปลากลุ่ม Catfish ถึง 5.1 พันตัน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการนำเข้าจากประเทศเวียดนาม ถึง 3.6 พันตัน และในปี พ.ศ. 2552 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเป็น 25.4 พันตัน ซึ่งประเทศไทยมีการนำเข้าเป็นอันดับสามประมาณ 3.5 พันตัน (ตารางที่ 2.1) ราคาการส่งออก ($/kg) ของปลากลุ่ม Catfish ของตลาดโลกในปี 2007-2014 รายงานว่า มีแนวโน้มราคาการส่งออกของปลากลุ่ม Catfish ลดลง แต่ราคาการส่งออกสูงที่สุด คือ อเมริกาเหนือ ส่วนราคาการส่งออกที่ต่ำที่สุดคือ รัสเซีย และยุโรปตะวันออก ส่วน ROW ราคาการส่งออกมีความผันผวนมาก ดังแสดงในภาพที่ 2.3



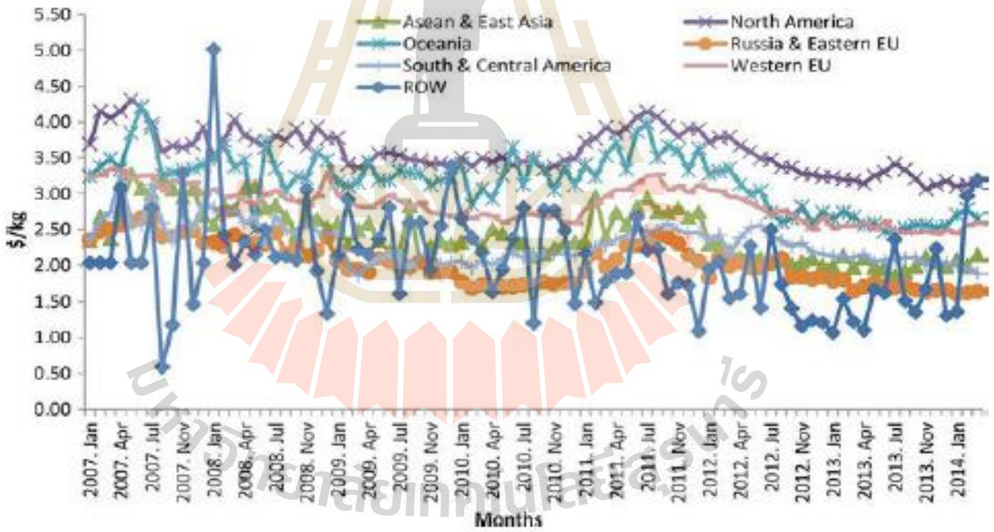
ภาพที่ 2.2 ผลผลิตรวมทั้งหมดของปลากลุ่ม Catfish ในปี 2012-2015

ที่มา: http://www.seafish.org/industry-support/aquaculture

ตารางที่ 2.1 สถิติการนำเข้าปลากลุ่ม Catfish แช่แข็งของประเทศสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรป (หน่วย: พันตัน)

ประเทศ	2548	2549	2550	2551	2552
เวียดนาม	3.6	3.4	7.3	12.5	16.4
จีน	0.8	1.9	7.8	9.2	4.3
ไทย	0.0	1.5	2.9	3.5	3.5
มาเลเซีย	0.0	1.4	0.5	0.5	0.1
อินโดนีเซีย	0.0	0.0	0.4	0.4	0.2
อื่นๆ	0.7	0.6	0.3	0.7	0.9
รวม	5.1	8.7	19.1	26.8	25.4

ที่มา: สุวิภา จรจันทึก (2553)



ภาพที่ 2.3 ราคาการส่งออก ($/kg) ของปลากลุ่ม Catfish ของตลาดโลกในปี 2007-2014

ที่มา: Thong *et al.* (2016)

2.3 ความต้องการโปรตีนของปลา

สารอาหาร (Nutrients) เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดรวมทั้งปลา ซึ่งช่วยในการเสริมสร้างการเจริญเติบโต และการทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกายให้สมบูรณ์ โดยปลาแต่ละชนิดมีความต้องการสารอาหารต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน สำหรับอาหารที่ใช้เลี้ยงปลาจะประกอบไปด้วยสารอาหารที่มีความสำคัญและจำเป็นต่อร่างกาย ประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน แร่ธาตุ และน้ำ โดยทั่วไปถือว่าโปรตีนเป็นสารอาหารหลักที่สำคัญและมีราคาแพงที่สุด (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2542; New and Wijkstrom, 2002) ซึ่งโปรตีนจะมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับระบบการทำงานของร่างกายแทบทุกระบบโดยมีหน้าที่ในการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย ด้วยการสร้างเซลล์ใหม่แทนที่เซลล์เก่า

ช่วยในการเจริญเติบโตของร่างกาย ทำให้ขนาดหรือน้ำหนักเพิ่มขึ้น เป็นแหล่งพลังงานสำรองของร่างกาย และเป็นส่วนประกอบของสารที่ควบคุมปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ เช่น เอนไซม์ ฮอร์โมน สารต้านทานโรค และเฮโมโกลบิน เป็นต้น (วีระพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536) โดยทั่วไปปลามีความต้องการโปรตีนอย่างน้อยที่สุดเท่ากับโปรตีนที่สะสมอยู่ในร่างกายปลา ซึ่งในปลากินพืช ปลากินทั้งพืชและเนื้อ และปลากินเนื้อ มีความต้องการโปรตีนเท่ากับ 18-25 25-32 และ 30-35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความต้องการโปรตีนของปลาและสัตว์บก พบว่า ปลามีความต้องการโปรตีนในระดับสูงถึง 30-50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหาร ซึ่งมากกว่าในสัตว์บก เช่น สัตว์ปีก และสุกร มีความต้องการโปรตีน เท่ากับ 18-23 และ 14-16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Lovell, 1991) แต่อย่างไรก็ตามปลามีประสิทธิภาพในการใช้คาร์โบไฮเดรตได้ต่ำกว่าในสัตว์บก (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2542) สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการโปรตีนในอาหารสัตว์น้ำ ได้แก่ ขนาด อุณหภูมิ คุณภาพของโปรตีน ระดับพลังงานในอาหาร และอัตราการให้อาหาร (นำชัย เจริญเทศประสิทธิ์, 2544) นอกจากนี้ในการพัฒนาสูตรอาหารสำหรับการเลี้ยงปลานั้น จำเป็นจะต้องทราบข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวกับความต้องการสารอาหารของปลาชนิดที่จะเลี้ยง องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการทำสูตรอาหาร และความสามารถในการย่อยและดูดซึมสารอาหารไปใช้ในร่างกายของปลาแต่ละชนิด (Wilson and Halver, 1986) ดังนั้นการทราบถึงระดับโปรตีนที่เหมาะสมของปลาแต่ละชนิด และข้อจำกัดในการใช้โปรตีนของปลา จะนำไปสู่การประยุกต์ใช้ที่เหมาะสม สำหรับความต้องการโปรตีนของปลาในกลุ่ม Catfish เช่น จากการศึกษาของ Chutjareyaves, Pongsirijun and Janesirisak, (1998) พบว่า ปลาเทโพ (*Pangasius larnaudii*) ที่มีน้ำหนัก 0.5-10 กรัม มีความต้องการโปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.2) และจากการรายงานของ ศุภรัตน์ ฉัตรจริยเวศน์ สมเกียรติ พงษ์ศิริจันทร์ และสมศักดิ์ เจนศิริศักดิ์ (2541)ได้ศึกษาความต้องการโปรตีนของปลาเทโพที่มีน้ำหนัก 139 กรัม พบว่า มีความต้องการโปรตีนในอาหาร 20 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.2) เช่นเดียวกับ ศุภรัตน์ ฉัตรจริยเวศน์ และสมเกียรติ พงษ์ศิริจันทร์ (2544) ได้ศึกษาความต้องการโปรตีนของปลาเทโพขนาดเล็ก ที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 6.5 กรัม ด้วยอาหารทดลองที่มีระดับโปรตีนต่างกัน 5 ระดับ คือ 20 25 30 35 และ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อาหารที่มีโปรตีน 30-35 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสำหรับการเลี้ยงในปลาเทโพขนาดเล็ก (ตารางที่ 2.2) จากการรายงานของ Page and Andrews (1973) ได้ทำการทดลองในปลากดอเมริกัน (*Ictalurus punctatus*) ที่มีน้ำหนัก 14-100 กรัม พบว่า มีความต้องการโปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่น้ำหนักประมาณ 114-500 กรัม พบว่ามีความต้องการโปรตีน 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปลาที่มีขนาดเล็กจะมีความต้องการโปรตีนมากกว่าปลาขนาดใหญ่ (ตารางที่ 2.2) สอดคล้องกับ Prather and Lovell (1973) พบว่า ปลากดอเมริกันน้ำหนัก 116-247 กรัม มีความต้องการโปรตีนในอาหาร 25-45 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.2) เช่นเดียวกับการรายงานของ Winfree and Stickney (1984) พบว่า ลูกปลากดอเมริกันที่มีน้ำหนักประมาณ 0.02-0.2 กรัม มีความต้องการโปรตีน 55 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาของ Jantrarotai, Sitasit, Chumsumgnern and Chinmoog (1992) พบว่า ปลาสวาย (*Pangasius sutchi*) ที่มีน้ำหนัก 0.5-10 กรัม มีความต้องการโปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์ และปลาสวายน้ำหนัก 20-25 กรัม พบว่า มีความต้องการโปรตีนในอาหาร 18 เปอร์เซ็นต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(Chuapoehuk, 1994) (ตารางที่ 2.2) และจากการศึกษาความต้องการโปรตีนในปลาดุกด้าน (*Clarias batrachus*) พบว่า ปลาดุกด้านที่มีน้ำหนัก 0.1 กรัม มีความต้องการโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ (Chuapoehuk, 1987) (ตารางที่ 2.2) จากการศึกษาของ สมศรี งามวงศ์ชน วรพงษ์ นลินานนท์ สมบัติ สิงห์สี และศุภรัตน์ ฉัตรจริยเวศน์ (2551) ได้ทดสอบความต้องการโปรตีนในปลาโมง (*Pangasius bocourti*) พบว่าปลาโมงที่มีน้ำหนัก 100-120 กรัม มีความต้องการโปรตีน 25 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การศึกษาของ สุภาพร มหันต์กิจ และนุชนรี ทองศรี (2555) พบว่า ในปลาเทพา (*Pangasius sanitwongsei*) ที่มีน้ำหนัก 0.6 กรัม มีความต้องการโปรตีนในอาหาร 35 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 แสดงความต้องการโปรตีนของปลาในกลุ่ม Catfish ที่มีขนาดต่างกัน

Species	น้ำหนัก (g)	ความต้องการโปรตีน (%)	Reference
ปลาเทโพ	0.5-10	35	Chutjareyaves *et al.* (1998)
ปลาเทโพ	139	20	ศุภรัตน์ ฉัตรจริยเวศน์ และคณะ (2541)
ปลาเทโพ	6.5	30-35	ศุภรัตน์ ฉัตรจริยเวศน์ และสมเกียรติ พงษ์ศิริจันทร์ (2544)
ปลากดอเมริกัน	14-100	35	Page and Andrews (1973)
ปลากดอเมริกัน	114-500	25	Page and Andrews (1973)
ปลากดอเมริกัน	116-247	25-45	Prather and Lovell (1973)
ปลากดอเมริกัน	0.02-0.2	55	Winfree and Stickney (1984)
ปลาสวาย	0.5-10	35	Jantrarotai *et al.* (1992)
ปลาสวาย	20-25	18	Chuapoehuk (1994)
ปลาดุกด้าน	0.1	30	Chuapoehuk (1987)
ปลาโมง	100-120	25	สมศรี งามวงศ์ชน และคณะ (2551)
ปลาเทพา	0.6	35	สุภาพร มหันต์กิจ และนุชนรี ทองศรี (2555)

2.4 กากสาโท (Rice wine residual)

สาโท (Sato) เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ไม่ผ่านการกลั่น จัดอยู่ในกลุ่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดไวน์ข้าว (Rice wine) เช่นเดียวกับสาเก (sake) ซึ่งสาโทเป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่มีการผลิตกันอย่างแพร่หลายในประเทศแถบเอเชีย เช่น จีน (jiu) เกาหลี (yakju) ญี่ปุ่น (sake) ฟิลิปปินส์ (tapay) เวียดนาม (ruou nep than) กัมพูชา (tapae) มาเลเซีย (tapai) และประเทศไทย (sato) (Luangkhlaypho *et al.*, 2014) โดยเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในกลุ่มนี้มีชื่อเรียกแตกต่างกันในแต่ละประเทศ แต่มีกระบวนการ

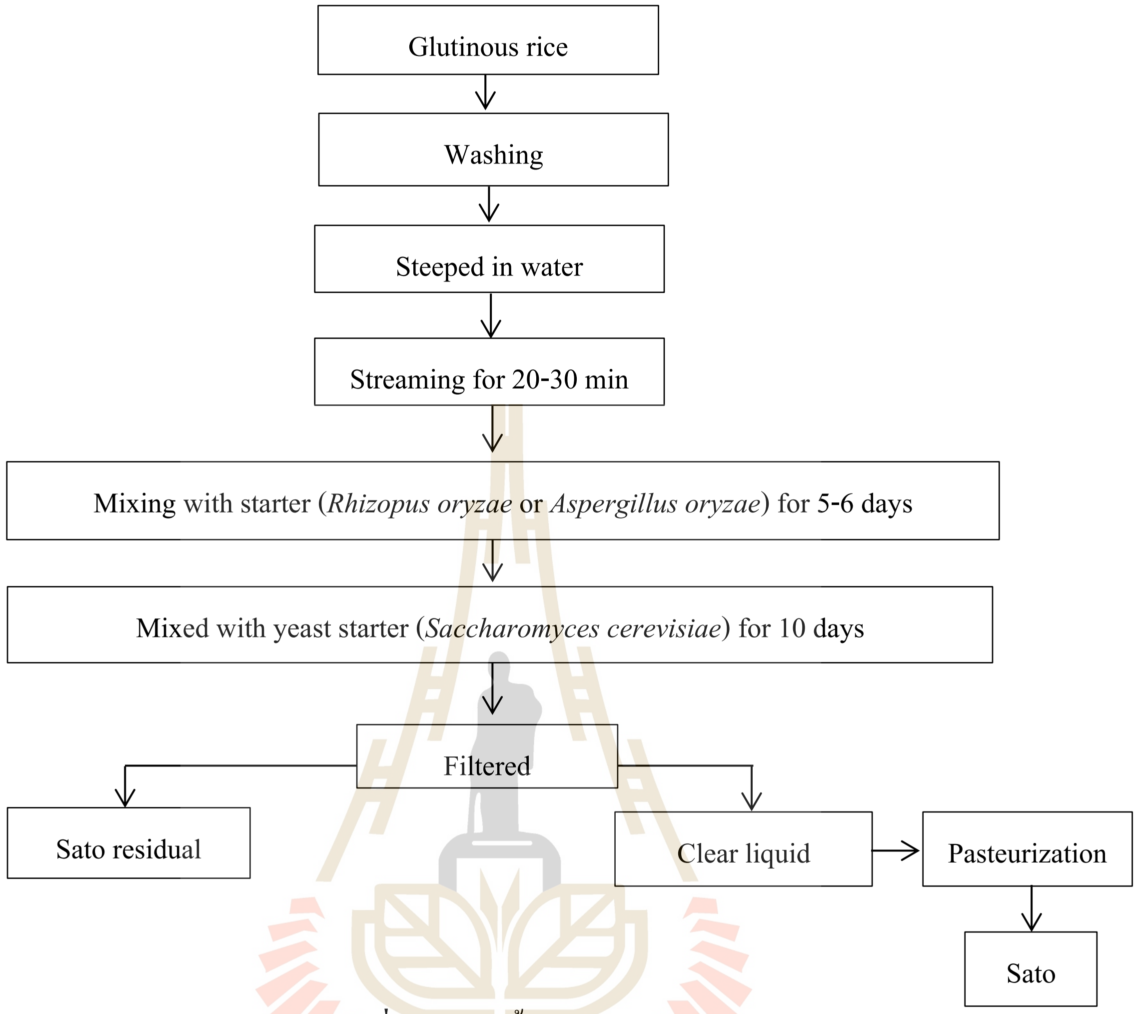
หมักที่เหมือนกัน ซึ่งในสาโทมักจะมีปริมาณแอลกอฮอล์สูงถึง 18-25 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าไวน์ 9-16 เปอร์เซ็นต์ และเบียร์ 4-6 เปอร์เซ็นต์ (Sirisantimethakom, Laopaiboon, Danvirutai and Laopaiboon, 2008) ปัจจุบันพบว่ามีการผลิตสาโทเพิ่มมากขึ้นทุก ๆ ปี ทั้งในแบบการผลิตสาโทแบบดั้งเดิมมากกว่า 225 แห่ง และการผลิตสาโทในเชิงพาณิชย์ประมาณ 5,764 แห่ง ในประเทศไทย ซึ่งได้รับความนิยมในกลุ่มผู้บริโภคสาโทเป็นจำนวนมาก (Techakriengkri and Surakarnkul, 2007) โดยในกระบวนการหมักสาโทนั้นจะใช้การหมักแบบ Semi septic fermentation คือ การหมักในสภาวะแบบปิด เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์จากภายนอก ซึ่งในส่วนประกอบของการทำสาโทจะประกอบไปด้วย ข้าวเหนียว ลูกแป้ง น้ำ และน้ำตาล (ปิยะมาศ คำทิพย์ กิจจา สืบหงส์ สนธยา ห้องพ่วง และสุรศักดิ์ คงประจักษ์, 2551) โดยจะนำข้าวเหนียวมาล้างเมือกข้าวออกให้หมดและแช่ในน้ำสะอาด จากนั้นจึงนำไปนึ่งประมาณ 20-30 นาที ค่อย ๆ ล้างน้ำออก และนำไปคลุกเคล้าด้วยหัวเชื้อแห้งที่เรียกว่า ลูกแป้ง ซึ่งหัวเชื้อนี้ประกอบไปด้วยเชื้อรา (*Aspergillus oryzae* หรือ *Rhizopus oryzae*) และยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) (Lu, Chen, Jiang, Li and Dong 2007) โดยจุลินทรีย์เหล่านี้จะได้รับสารอาหารจากข้าวที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการหมัก ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ซึ่งปฏิกิริยาในการหมักสาโทจัดเป็น multi parallel fermentation หมายถึง กระบวนการหมักที่มีหลายปฏิกิริยา และจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันโดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ๆ ตามสภาวะของการหมักและประเภทของจุลินทรีย์ โดยเริ่มจากขั้นตอนที่ 1 เป็นกระบวนการเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาล โดยเชื้อราในสภาวะมีออกซิเจน ซึ่งจะทำหน้าที่ผลิตเอนไซม์กลุ่มอะไมเลสมาย่อยแป้งในเมล็ดข้าวให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาล ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า Saccharification ซึ่งกลไกในการย่อยแป้งประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนย่อย ๆ ดังนี้

1.1 การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ทำให้เม็ดแป้งพองตัวโดยเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำ ขณะที่ได้รับความร้อนทำให้เม็ดแป้งพองตัวเรียกอุณหภูมิช่วงนี้ว่า อุณหภูมิการเกิดเจล (Gelatinization Temperature)

1.2 การเกิดลิเคอแฟคชัน (Liquefaction) เป็นขั้นตอนการลดความหนืดของแป้งที่เกิดเจล โดยการย่อยโมเลกุลของแป้งแบบสุ่มของกลูโคส ทำให้แยกเป็นสายสั้น ๆ มีโมเลกุลเล็กลง มีความหนืดลดลง

1.3 การเกิดแซคคาริฟิเคชัน (Saccharification) เป็นขั้นตอนการย่อยแป้งให้เป็นโมเลกุลของน้ำตาลภายหลังการย่อยจะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว น้ำตาลโมเลกุลคู่ หรือน้ำตาลที่มีโมเลกุลสูงกว่า ผลที่ได้คือ กลูโคส มอลโตส หรือมอลโตไตรโอส (จริยา เดชกุญชร และดวงฤทัย ธำรงโชติ, 2546)

จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนที่ 2 คือ ยีสต์จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนน้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้งให้เป็นแอลกอฮอล์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Liu, He, Wang and Pan, 2007; Jeyaram, Singh, Capece and Romano, 2008) ยีสต์ *S. cerevisiae* จะนำน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น น้ำตาลกลูโคสเข้าสู่เซลล์ จากนั้นกลูโคสจะเปลี่ยนเป็นสารตัวกลางต่าง ๆ ในวิถีไกลโคไลซีส (glycolysis patway) โดยไม่มีการใช้อากาศในปฏิกิริยา ซึ่งน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุล จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดไพรูวิก 2 โมเลกุล โดยกรดไพรูวิกที่เกิดขึ้นนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นเอทานอลโดยอาศัยเอนไซม์ pyruvate decarboxylase และ alcohol dehydrogenase ผ่านวิถีการสังเคราะห์เอทานอล (ปิยะมาศ และคณะ, 2551)



ภาพที่ 2.4 แสดงขั้นตอนในการผลิตสาโท

ที่มา: Vechklang *et al.* (2010)

หลังจากนั้นจึงนำสาโทที่ได้มากรองโดยนำส่วนใสไปผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (pasteurization) ก็จะได้เป็นสาโท และส่วนที่เหลือเป็นตะกอน คือ กากสาโทที่ไม่ผ่านการกรอง (Lertpinyochaithaworn, 2007) (ภาพที่ 2.5) ซึ่งเป็นผลพลอยได้ในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการหมัก โดยกากสาโท ประกอบด้วย โปรตีนประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม ฟอสฟอรัส และอุดมไปด้วยแหล่งของกรดอะมิโนที่จำเป็น ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ภาพที่ 2.5 กากสาโท

2.5 ผลของการใช้ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทดแทนปลาป่นในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของสัตว์และปลา

การเจริญเติบโตของปลาถือเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญต่อการประเมินประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลา เนื่องจากกากสาโทเป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตสาโท ซึ่งกากสาโทนั้น ประกอบไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการมากมายที่ได้มาจากข้าวและ microorganisms โดยธาตุอาหารที่สำคัญที่เหลืออยู่ คือ โปรตีนจากยีสต์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตสาโท จะประกอบด้วย วิตามินบี แร่ธาตุ และกรดอะมิโนที่จำเป็น (Vechklang *et al*., 2011) โดยผนังเซลล์ของยีสต์ประกอบด้วย เบต้ากลูแคน แมนแนน โอลิโกแซคคาไรด์ และไคติน จึงสามารถนำมาใช้เป็นอาหารเสริมชีวนะ (prebiotic) ในอาหารสัตว์น้ำได้ (Salze *et al*., 2008) ซึ่งกากสาโทนั้นมีคุณสมบัติเป็นอาหารเสริมชีวนะประเภท Mannan-oligosaccharide (MOS) โดยกลไกการทำงานจะเข้าไปจับเกาะแบคทีเรียก่อโรค ป้องกันไม่ให้แบคทีเรียก่อโรคเข้าไปเกาะและตั้งถิ่นฐานบนเซลล์ของผนังเยื่อบุลำไส้ได้ ซึ่งจะไปกระตุ้นการดูดซึมสารอาหารของลำไส้และกระตุ้นการคัดหลั่งของเอนไซม์ที่ช่วยในการย่อยของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ภายในลำไส้ จึงส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลา (Farhangi *et al*., 2001) และสามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ โดยช่วยในกิจกรรมในการดูดซึมของลำไส้ได้ดีขึ้น โดยเพิ่มพื้นที่รอยพับของลำไส้ให้สูงขึ้น เพิ่มความยาว และความหนาแน่นของไมโครวิลไล (Dimitroglou *et al*., 2010) และช่วยให้การย่อยของสารอาหารในลำไส้จึงทำให้การเจริญเติบโตดีขึ้น (Jarmolowicz *et al*., 2012)

จากการรวบรวมเอกสารงานวิจัย พบว่า การใช้ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์สามารถนำมาใช้ทดแทนปลาป่นได้ทั้งในสัตว์และในปลา จากการศึกษาของวิทยา ตินนังวัฒนะ (2539) ทำการทดลองใช้กากตะกอนเบียร์ที่ผ่านการฉายรังสีทดแทนปลาป่นที่ระดับ 60 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ปลาป่น) พบว่า ปลานิลที่เลี้ยงด้วยกากตะกอนเบียร์ที่ระดับ 60 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ DGR SGR และ FCR ไม่แตกต่างจากการใช้ปลาป่น ดวงรัตน์ มุกค์มณี (2540) ศึกษาการใช้กากตะกอนเบียร์ (Brewery activated sludge; BAS) ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาดุกลูกผสม ที่ระดับ 0 (Control) 10 20 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้กากตะกอนเบียร์ที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ Weight gain DGR SGR และ FCR ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น แต่ไม่แตกต่างจากการใช้ปลาป่น เช่นเดียวกับวิทยา ตินนังวัฒนะ และทวี วิพุทธานุมาศ (2545) ทำการทดลองเลี้ยงปลาตะเพียนขาวด้วยอาหารผสมกากตะกอนเบียร์ที่ระดับ 0 10 20 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้กากตะกอนเบียร์ที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ SGR FCR และ Feed intake ไม่แตกต่างจากการใช้ปลาป่นและเหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ในอาหารปลาตะเพียนขาว (ตารางที่ 2.3) Tsutsui *et al.* (1998) ได้ศึกษาการใช้กากสาเกในอาหารหนูที่ระดับต่างกัน คือ 0 50 94 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้กากสาเกที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม แต่เมื่อมีการใช้กากสาเกที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตของหนูลดลง จากการศึกษาของ Oliva-Teles and Goncalves (2001) ได้ทดลองใช้กาก

ยีสต์ (Brewer's yeast) ทดแทนปลาป่นที่ระดับ 0 10 20 30 50 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ ที่เสริมด้วย Methionine ในอาหารของปลา Sea bass พบว่า การใช้กากยีสต์ทดแทนปลาป่นที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับการเสริม Methionine มีผลทำให้ SGR และ FCR ของปลา Sea bass ไม่แตกต่างจากการใช้ปลาป่น และเมื่อใช้ทดแทนที่ระดับ 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีผลทำให้ FCR ดีกว่าการใช้ปลาป่น (ตารางที่ 2.3) นอกจากนี้ Manabe *et al.* (2004) ทำการศึกษาการใช้กากสาเกที่ระดับ0 20 เปอร์เซ็นต์ และสาเกยีสต์ที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารหนู พบว่า การใช้กากสาเกที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ และสาเกยีสต์ที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตและ Feed intake ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีการใช้ปลาป่น เช่นเดียวกับ Ozorio, Turini, Moro, Oliveira, Portz and Cyrino (2010) ทดลองใช้กากยีสต์ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาจาระเม็ดน้ำจืดที่ระดับ 0 30 35 50 70 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้กากยีสต์ทดแทนปลาป่นที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ Weight gain และ Feed intake ดีขึ้น (ตารางที่ 2.3) จากการรายงานของ Vechklang *et al.* (2011) ได้ทดลองใช้กากสาโทแทนปลาป่นในอาหารลูกปลานิลวัยอ่อน ที่ระดับต่างกันคือ 0 7.5 15 22.5 30 37.5 และ 45 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้กากสาโทที่ระดับ 22.5 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ Weight gain SGR และ FCR ไม่แตกต่างจากการใช้ปลาป่น ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต แต่เมื่อทดแทนในระดับที่เพิ่มขึ้น 37.5 และ 45 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตของปลาลดลง (ตารางที่ 2.3) และจากการศึกษาของ Pongpet *et al.* (2015) ทำทดลองใช้กากยีสต์ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงที่ระดับ 0 30 45 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้กากยีสต์ที่ระดับ 45 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น ๆ และไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาสวายโมง (ตารางที่ 2.3)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.3 ผลของการใช้ by-product จากอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทดแทนปลาป่นในอาหารต่อสมรรถนะเจริญเติบโตของสัตว์และปลา

ปัจจัยที่ทำการศึกษา	ผลของการศึกษา	Reference
สมรรถนะการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร	- การใช้กากตะกอนเบียร์ที่ผ่านการฉายรังสีทดแทนปลาป่นในอาหารปลานิลที่ระดับ 60 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ DGR SGR และ FCR ไม่แตกต่างจากการใช้ปลาป่น	วิทยา ตินนังวัฒนะ (2539)
	- การใช้กากตะกอนเบียร์ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาดุกลูกผสมที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ Weight gain DGR SGR และ FCR ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น แต่ไม่แตกต่างจากการใช้ปลาป่น	ดวงรัตน์ มุกค์มณี (2540)
	- การใช้กากตะกอนเบียร์ที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ SGR FCR และ Feed intake ไม่แตกต่างจากการใช้ปลาป่น และเหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ในอาหารปลาตะเพียนขาว	วิทยา ตินนังวัฒนะ และทวี วิพุทธานุมาศ (2545)
	- การใช้กากสาเกที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารหนู มีผลทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม แต่เมื่อมีการใช้กากสาเกที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตของหนูลดลง	Tsutsui *et al.* (1998)
	- การใช้กากยีสต์ทดแทนปลาป่นที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการเสริม Methionine มีผลทำให้ SGR และ FCRของปลา Sea bass ไม่แตกต่างจากการใช้ปลาป่น และเมื่อใช้ทดแทนที่ระดับ 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีผลทำให้ FCR ดีกว่าการใช้ปลาป่น	Oliva-Teles and Goncalves (2001)
	- การใช้กากสาเกที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ และสาเกยีสต์ที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารหนู มีผลทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตและ Feed intake ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีการใช้ปลาป่น	Manabe *et al.* (2004)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.3 ผลของการใช้ by-product จากอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทดแทนปลาป่นในอาหารต่อสมรรถนะเจริญเติบโตของปลา (ต่อ)

ปัจจัยที่ทำการศึกษา	**ผลของการศึกษา**	**Reference**
สมรรถนะการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร	- การใช้กากยีสต์ทดแทนปลาป่นที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ Weight gain และ Feed intake ดีขึ้น	Ozorio *et al*. (2010)
	- การใช้กากสาโทที่ระดับ 22.5 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารลูกปลานิลวัยอ่อน มีผลทำให้ Weight gain SGR และ FCR ไม่แตกต่างจากการใช้ปลาป่น ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต แต่เมื่อทดแทนในระดับที่เพิ่มขึ้น 37.5 และ 45 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตของปลาลดลง	Vechklang *et al*. (2011)
	- การใช้กากยีสต์ที่ระดับ 45 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น ๆ และไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาสวายโมง	Pongpet *et al*. (2015)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.6 ผลของการใช้ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทดแทนปลาป่นในอาหารต่อลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ของปลา

การกินอาหารของปลานั้นจะต้องใช้อวัยวะเกี่ยวกับการย่อยมาช่วยในการทำงานเพื่อย่อย และดูดซึมสารอาหารไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกาย เพื่อการดำรงชีวิตของปลา และในส่วนของลำไส้เล็กนั้นมีบทบาทสำคัญ โดยจะทำหน้าที่ในการย่อยและการดูดซึมสารอาหาร การย่อยอาหารมีความสัมพันธ์กับการพัฒนาในลำไส้เล็ก ซึ่งการใช้ผลพลอยได้จากแหล่งโปรตีนต่าง ๆ มาทดแทนการใช้ปลาป่นนั้น มักมีหลายปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ของปลา คือส่วนประกอบของโภชนาการ ความเครียด และโรค โดยจะมีผลต่อค่าสรีระวิทยาและเมทาบอลิซึมของการดูดซึมสารอาหารในปลา (Farhangi, Whitney and Szczesniak, 2001) จากการรายงาน พบว่า การกินอาหารที่มีเบต้า-กลูแคนเข้าไปนั้นอาหารจะไปสัมผัสกับ mucosal ของระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งในลำไส้เล็กบริเวณ Epithelium cell กับภูมิคุ้มกันเซลล์ของ Peyer's patches มีบทบาทสำคัญในการควบคุมการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันโดย M cells จะทำหน้าที่เฉพาะตรง epithelial cells สำหรับในการขนส่งของโมเลกุลขนาดใหญ่ภายใน Peyer's patches ซึ่งนำไปสู่การผลิต cytokine เพิ่มขึ้น และเพิ่มความต้านทานต่อการติดเชื้อโรคได้ (Volman, Ramakers and Plat, 2008) ซึ่งจากการศึกษาของ Vechklang *et al.* (2011) ได้ทำการประเมินศักยภาพของการใช้กากสาโทสำหรับใช้เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนปลาป่นในอาหารปลานิล ที่ระดับ 0 (Control) 7.5 15 22.5 30 37.5 45 เปอร์เซ็นต์ และสูตรอาหารทางการค้า พบว่า ค่าความสูงของ villi และความหนาของ epithelium มีผลต่อการบริโภคและการดูดซึมสารอาหารเมื่อ villi เพิ่มสูงขึ้นและความหนาของ epithelium ลดลง จะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับใช้ในกระบวนการการดูดซึมของสารอาหารได้ดีขึ้น (Caspary, 1992) ส่วน Globet cell จะกระจายไปตาม villi โดยมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์และการหลั่งมิวซินในชั้น mucus ที่ทำลายเชื้อโรค (Delashoub *et al.*, 2010; Iijima *et al.*, 2001) และการใช้กากสาโทระดับ 22.5 เปอร์เซ็นต์ มีความเหมาะสมที่สุดในการทดแทนปลาป่น เนื่องจากไม่ส่งผลกระทบต่อค่าลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ เช่นเดียวกับการรายงานของ Zhu, Liu, Yan and Wang (2012) ได้ศึกษาผลของการใช้กากยีสต์ในอาหารที่ระดับต่างกันคือ 0 0.1 0.2 และ 0.3 เปอร์เซ็นต์ โดยประเมินลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้เล็กของปลากดอเมริกัน พบว่า การใช้ยีสต์เสริมในอาหารปลามีผลทำให้ค่า Intestine fold height เพิ่มสูงขึ้นในทุกระดับโดยค่า Intestine fold height ที่เพิ่มสูงขึ้นนั้นบ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซึมที่เพิ่มสูงขึ้นในสัตว์น้ำ การเสริมยีสต์ที่ระดับ 0.2 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ค่าความหนาของ Muscular layers เพิ่มสูงขึ้น ($P<0.05$) และการเสริมยีสต์ที่ระดับต่าง ๆ ส่งผลให้ค่า Goblet cell เพิ่มสูงขึ้น โดยไม่ส่งผลกระทบต่อลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ของปลา

2.7 ผลของการใช้ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทดแทนปลาป่นในอาหารต่อระบบภูมิคุ้มกันของปลา

ระบบภูมิคุ้มกันของปลาเป็นระบบพื้นฐานที่มีความใกล้เคียงกับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยระบบภูมิคุ้มกันเป็นกลไกของร่างกายในการป้องกันตัวจากเชื้อโรค ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ (Non-specific immunity) และระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะ (Specific immunity) แต่ละระบบจะประกอบด้วยการทำงานร่วมกันของระบบภูมิคุ้มกันแบบเซลล์ (cellular immunity) และภูมิคุ้มกันแบบสารน้ำ (humoral immunity) ในการกำจัดสิ่งแปลกปลอม โดยส่วนใหญ่สุขภาพของปลาจะขึ้นอยู่กับภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ ซึ่งภูมิคุ้มกันชนิดนี้ถือเป็นด่านแรกในการป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อโรคต่าง ๆ และมีการตอบสนองอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการบุกรุกของเชื้อโรคหลายชนิด และเป็นภูมิคุ้มกันหลักในการป้องกันการระบาดของโรคที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ในลูกปลาวัยอ่อน (Magnadottir, 2006) ระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะจะเกิดขึ้นเมื่อร่างกายไม่สามารถกำจัดสิ่งแปลกปลอมโดยระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะได้ (ชนกันต์ จิตมนัส, 2545) ซึ่งมีความสามารถในการตอบสนองต่อการกระตุ้นการทำงานของเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงมาก โดยช่วยทำให้ระดับภูมิคุ้มกันของสัตว์เพิ่มสูงขึ้นและสามารถต้านทานการรุกรานของเชื้อโรคได้นั้นมีชื่อว่า สารกระตุ้นภูมิคุ้มกัน (Immunostimulants) (Granam and Schrock, 2001) สำหรับสารกระตุ้นภูมิคุ้มกันที่นิยมนำมาศึกษาเพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่วนใหญ่เป็นเบต้ากลูแคน (β-1, 3 glucan) ที่สกัดจากผนังเซลล์ของยีสต์หรือเชื้อราที่ใช้ในการหมักขนมปังหรือยีสต์ที่ใช้ในการผลิตเบียร์ เช่น *S. cerevisiae* รวมไปถึงการผลิตสาโทด้วย และเป็นที่ยอมรับว่ามีประสิทธิภาพสูงในการกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะในปลาหลายชนิด เช่น ในปลา Turbot (Santarem, 1997) และปลาสลิด (Samuel *et al.*, 1996) พบว่า เมื่อปลาได้รับสารกระตุ้นภูมิคุ้มกันเบต้า-กลูแคนที่พบในยีสต์ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง จะทำให้การทำงานของระบบภูมิคุ้มกันเพิ่มสูงขึ้นได้ จากการรายงานของ Kumari and Sahoo (2006) ที่ทำการศึกษาการเสริมเบต้า-กลูแคนที่ได้จากยีสต์ (*S. cerevisiae*) ที่ระดับ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ในอาหาร Asian catfish และกลุ่มควบคุมต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันและความต้านทานโรคของปลาเป็นเวลา 1 2 และ 3 สัปดาห์ โดยทดสอบ Superoxide production Serum myeloperoxidase (MPO) content Natural haemagglutinin level Complement และ Lysozyme activities และทดสอบการต้านทานเชื้อ *A. hydrophila* พบว่า การเสริมเบต้า-กลูแคนที่ระดับ 0.1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 สัปดาห์ สามารถเพิ่มการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันและสามารถต้านทานโรคได้ เช่นเดียวกับ Ai, Mai, Zhang, Tan, Zhang, Xu and Li (2007) ทำการทดลองเสริมเบต้า-กลูแคนที่ได้มาจากยีสต์ลงในอาหารต่อการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน ในปลาจวดเหลืองที่ระดับ 0 (Control) 0.09 0.18 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า การใช้เบต้า-กลูเคนที่ระดับ 0.09 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโตและระบบภูมิคุ้มกัน และจากการศึกษาของ He, Zhou, Liu, Shi, Yao, Ringo and Yoon (2009) ทำการศึกษาการใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* ในอาหารปลา hybrid tilapia ที่ระดับ 0 1.25 2.5 5 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่า

การใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* ทุกระดับ มีผลทำให้ค่า Lysozyme phagocytic activity Phagocytic index และ Respiratory burst activity เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) ซึ่งสามารถต้านทานต่อเชื้อโรคได้

องค์ประกอบของเลือดเป็นตัวแปรที่สำคัญในการประเมินสภาพทางกายภาพและชีวภาพของปลา โดยการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเลือดขึ้นอยู่กับชนิด สายพันธุ์ อายุ ระยะเจริญพันธุ์ และสุขภาพของปลา การเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ สารพิษที่ปนเปื้อน การให้อาหารหรือวิตามินเสริมหรือความผิดปกติในระบบใดระบบหนึ่งของร่างกาย จะส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบของเลือด (นิรุทธิ์ สุขเกษม, จรีพร เรืองศรี และกิจการ ศุภมาตย์, 2548; Puangkaew, Kiron, Somamoto, Okamoto, Satoh, Takeuchi and Watanabe, 2004; Hrubec *et al*., 2000) ดังนั้นการศึกษาค่าองค์ประกอบของเลือดบางลักษณะสามารถใช้ในการพัฒนาด้านการเลี้ยง โภชนะศาสตร์ รวมถึงการป้องกันรักษาโรค และสุขภาพของปลาได้ (ขวัญตา พลูสำราญ, ทิพสุคนธ์ พิมพ์พิมล, เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน และชนกันต์ จิตมนัส, 2551) เช่น เม็ดเลือดแดงและเม็ดเลือดขาวที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบเลือด พบว่า จำนวนเม็ดเลือดแดงและเม็ดเลือดขาวจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีความผิดปกติของระบบใดระบบหนึ่งในร่างกาย เช่น ในสภาวะที่ปลามีการติดเชื้อก่อโรคจำนวนเม็ดเลือดขาวจะเพิ่มจำนวนมากขึ้น ขณะที่เม็ดเลือดแดงจะมีจำนวนน้อยลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับปลาที่ไม่ติดเชื้อ (กิจการ ภมาตย์ สาวิตรี ศิลาเกษ วุฒิพร พรหมขุนทอง และสิทธิ บุณยรัตผลิน, 2539) จากการรายงานของจุไลวรรณ รุ่งกำเนิดวงศ์ จำเริญศรี พวงแก้ว และกิจการ ศุภมาตย์ (2550) ทำการทดลองเสริมเบต้า-กลูแคนในอาหารปลากะรังดอกแดงที่ระดับ 10 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การเสริมเบต้า-กลูแคนที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนเม็ดเลือดขาว ปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่นสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม ($P<0.05$) แต่จำนวนเม็ดเลือดแดงนั้นไม่มีความแตกต่างกันกับกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมเบต้า-กลูแคน เช่นเดียวกับ Abdel-Tawwab, Abdel-Rahman and Ismael (2008) ทำการเสริมยีสต์ *S. cerevisiae* ในอาหารปลานิลที่ระดับต่างกัน คือ 0 2.5 5.0 10 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การเสริมยีสต์ *S. cerevisiae* ที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้จำนวนเม็ดเลือดแดงและค่า Hematocrit เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม Control ($P<0.05$) และเหมาะสมที่สุดในการใช้ต้านทานโรคได้ อีกทั้งจากการศึกษาของ Lunger, Mclean and Craig (2006) ที่ใช้กากยีสต์ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาช่อนทะเล (Cobia) พบว่า การใช้กากยีสต์ในทุกระดับมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดแดงอัดแน่นสูงกว่าการใช้ปลาป่น จากการศึกษาของ Vechklang *et al*. (2011) ทำการทดลองใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลานิลวัยอ่อน พบว่า การใช้กากสาโทที่ระดับ 22.5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่นไม่แตกต่างจากการใช้ปลาป่น ($P>0.05$) และการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ พบว่าจำนวนเม็ดเลือดแดงและฮีโมโกลบินไม่ต่างกันกับการใช้ปลาป่น สอดคล้องกับการศึกษาของ Pongpet *et al*. (2015) ที่มีการใช้กากยีสต์ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง พบว่า ไม่มีผลต่อค่าโลหิตวิทยา (RBC Hct Hb WBC Thrombocyte Lymphocyte MCV และ MCH) แต่เมื่อมีการใช้กาก

ยีสต์ทดแทนปลาป่นในระดับที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้ค่า MCH Hb WBC และ Lymphocyte มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

2.8 ผลของการใช้ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทดแทนปลาป่นในอาหารต่อคุณภาพเนื้อของปลา

คุณภาพเนื้อปลา (flesh quality) หมายถึง คุณภาพการบริโภคโดยผู้บริโภคให้ความสำคัญกับปริมาณเนื้อส่วนที่บริโภคได้ (yield) และขนาดของเนื้อปลา ปริมาณโปรตีนสูงไขมันไม่มากเกินไป อีกทั้งยังมีความนุ่มของเนื้อและรสชาติที่ดีด้วย ดังนั้นในระดับความพึงพอใจทั้งหมดของการบริโภคจึงประกอบไปด้วยหลายปัจจัย รวมไปถึงลักษณะที่ปรากฏต่อสายตา เช่น สี กลิ่น และเนื้อสัมผัส เป็นต้น (สัญชัย จตุรสิทธา, 2543) จากการรายงานของ Gjedrem (1997) กล่าวว่า ปัจจัยสำคัญในการชี้วัดลักษณะของคุณภาพเนื้อปลามีดังนี้ 1) ปริมาณไขมันต้องมีความเหมาะสมในปลาแต่ละชนิดและเหมาะกับความต้องการของตลาด 2) การกระจายตัวของไขมันไม่ควรมีไขมันส่วนเกินสะสมในร่างกาย 3) สีของเนื้อที่ปรากฏควรเป็นสีปลาสดตามแต่ละชนิดของปลา 4) เนื้อสัมผัสแน่น เหนียวน้อยและยืดหยุ่นได้ดี นอกจากนี้องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา หมายถึง โภชนะที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในร่างกายของสัตว์น้ำ ประกอบไปด้วย น้ำ โปรตีน ไขมัน ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 98 ของน้ำหนักเนื้อทั้งหมด ซึ่งมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ และลักษณะเนื้อสัมผัส สำหรับองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และเกลือแร่มีในปริมาณน้อยแต่มีความสำคัญต่อกลิ่น รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการ ในปลาที่มีไขมันสะสมในกล้ามเนื้อมากจะทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสเละ และทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่เกิดจากกระบวนการออกซิเดชัน (Huss, 1988) อาหารเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา (Body composition) เช่น ช่วงการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ เมื่อสัตว์น้ำอายุมากขึ้นและได้รับอาหารที่เพียงพอแก่ความต้องการจะทำให้สัตว์น้ำมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนและเถ้าสูงขึ้น ตรงกันข้ามในช่วงขาดแคลนอาหารสัตว์น้ำจะชะงักการเจริญเติบโต ทำให้ร่างกายมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนและไขมันลดลง แต่ถ้าได้รับอาหารในปริมาณที่เหมาะสมหรือปริมาณที่เกินความต้องการจะทำให้สัตว์น้ำมีประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์จากอาหารลดต่ำลง (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2542) ดังนั้นการนำวัตถุดิบทางเลือกมาใช้ในอาหารปลาจำเป็นต้องทราบถึงผลกระทบที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีของปลา ซึ่งจากการทดลองของ Oliva-Teles and Goncalves (2001) ได้ทำการศึกษาการใช้กากยีสต์ทดแทนปลาป่นในอาหารปลา Sea bass ที่ระดับต่างกัน คือ 10 20 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้กากยีสต์ที่ระดับ 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าโปรตีนสะสมในเนื้อปลาสูงกว่าการใช้ปลาป่น ($P<0.05$) แต่ส่วนของไขมันและเถ้าในเนื้อปลาไม่พบความแตกต่างกัน และจากการศึกษาของ Lunger *et al.* (2006) ทดลองใช้กากยีสต์ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาช่อนทะเลที่ระดับ 0 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์

พบว่า การใช้กากยีสต์ที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลดีที่สุด เนื่องจากค่าโปรตีนและไขมันที่สะสมในเนื้อปลาไม่แตกต่างจากการใช้ปลาป่น เช่นเดียวกับ Bob-Manuel and Ockiya (2011) ได้ทำการทดลองใช้กากยีสต์ทดแทนปลาป่นในอาหารปลานิลเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ที่ระดับ 0 10 20 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้กากยีสต์ที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลดีที่สุดโดยมีค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่สะสมในเนื้อปลาสูงที่สุดไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ใช้ปลาป่น ในส่วนของไขมัน พบว่า การใช้กากยีสต์ในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น มีผลทำให้การสะสมของไขมันในตัวปลาลดลง สอดคล้องกับการรายงานของ Vechklang *et al.* (2011) ที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทในอาหารลูกปลานิลวัยอ่อนที่ระดับต่าง ๆ คือ 7.5 15 22.5 30 37.5 และ 45 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้กากสาโทในทุกระดับ มีผลทำให้ค่าโปรตีน ไขมัน และเถ้าที่สะสมในเนื้อปลาไม่แตกต่างจากการใช้ปลาป่น ($P>0.05$) และจากการศึกษาของ Pongpet *et al.* (2015) ที่มีการใช้กากยีสต์ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงที่ระดับ 0 30 45 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์ และสูตรอาหารทางการค้า พบว่า ไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาสวายโมง ในขณะที่องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการใช้กากยีสต์ทดแทนปลาป่นที่ระดับ 30 45 และ 60 เปอร์เซ็นต์ มีค่าระดับโปรตีนในเนื้อปลาสูงกว่าสูตรอาหารทางการค้า ในขณะที่ความชื้น ไขมัน และเถ้าของปลาที่ได้รับอาหารในทุกทรีทเมนต์นั้นไม่มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้การใช้กากยีสต์ทดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ ไม่มีผลต่อค่าความสว่างของเนื้อปลาสวายโมงสด ($P>0.05$)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาการใช้กากสาโท (Rice wine residual) เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง (Thai Panga) โดยทำการศึกษาพารามิเตอร์หลัก ๆ 4 พารามิเตอร์ คือ สมรรถนะการเจริญเติบโต ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ ค่าโลหิตวิทยาและชีวเคมีในโลหิต ระบบภูมิคุ้มกัน และคุณภาพเนื้อปลา โดยใช้สถานที่ทำการทดลอง อุปกรณ์และสารเคมี พร้อมทั้งวิธีการศึกษา ดังนี้

3.1 สถานที่ทำการทดลอง

การศึกษาในครั้งนี้มีการดำเนินงานวิจัยทั้งในภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ ในส่วนของห้องปฏิบัติการนั้นใช้ห้องปฏิบัติการโภชนะศาสตร์สัตว์ อาคารเครื่องมือ 3 และห้องปฏิบัติการสรีระวิทยาและกายวิภาคสัตว์ อาคารเครื่องมือ 10 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และในภาคสนามใช้ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (งานสัตว์น้ำ) เป็นสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

3.2 วิธีการศึกษา

3.2.1 การเตรียมปลาทดลอง

ใช้ลูกปลาสวายโมงที่ได้จากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดจังหวัดนครพนม มาทำการเลี้ยงในกระชังบ่อดินขนาด 10 ไร่ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ และให้กินอาหารปลาดุกเล็กที่มีโปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการสุ่มปลาทดลองที่มีน้ำหนักประมาณ 220.38 กรัม ลงในกระชังทดลองขนาด $1 \times 1 \times 1.5$ เมตร กระชังละ 40 ตัว จำนวน 18 กระชัง มีการให้อากาศในปลาทุกกระชัง และทำการเลี้ยงเพื่อปรับสภาพให้คุ้นเคยกับสภาพการทดลองเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ก่อนเริ่มการทดลอง และจึงทำการเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 10 เดือน

3.2.2 การเตรียมอาหารทดลอง

นำวัตถุดิบอาหารปลามาทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี (โปรตีน ความชื้น ไขมัน เยื่อใย และเถ้า ผลดังตารางที่ 3.1) ตามวิธีการของ AOAC (2000) จากนั้นทำการสร้างสูตรอาหารทดลองที่มีการปรับให้สูตรอาหารทุกสูตรมีระดับโปรตีนเท่ากับ 320 กรัมต่อกิโลกรัม และพลังงานเท่ากับ 15.00 กิโลจูลต่อกรัม ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ทำการวิเคราะห์หาแคลเซียม ฟอสฟอรัส และองค์ประกอบของ

กรดอะมิโนที่จำเป็นในกากสาโท ปลาป่น และอาหารทดลองแต่ละสูตร (ดังตารางที่ 3.3 และ 3.4) โดยมีการแบ่งอาหารทดลองออกเป็น 6 ทรีทเมนต์ ดังนี้

ทรีทเมนต์ที่ 1 อาหารเม็ดสำเร็จรูปสูตรทางการค้า (Control A, CA)

ทรีทเมนต์ที่ 2 อาหารที่ผลิตขึ้นเองโดยทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโท 0 เปอร์เซ็นต์ (Control B, CB)

ทรีทเมนต์ที่ 3 อาหารที่ผลิตขึ้นเองโดยทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโท 10 เปอร์เซ็นต์ (D10)

ทรีทเมนต์ที่ 4 อาหารที่ผลิตขึ้นเองโดยทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโท 20 เปอร์เซ็นต์ (D20)

ทรีทเมนต์ที่ 5 อาหารที่ผลิตขึ้นเองโดยทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโท 30 เปอร์เซ็นต์ (D30)

ทรีทเมนต์ที่ 6 อาหารที่ผลิตขึ้นเองโดยทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโท 40 เปอร์เซ็นต์ (D40)

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมี (กรัมต่อกิโลกรัม) ของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ใช้ในการสร้างสูตรอาหารทดลอง

วัตถุดิบ	**โปรตีน**	**ไขมัน**	**เยื่อใย**	**เถ้า**	**NFE[1]**
ปลาป่น	522.30	83.20	11.10	234.90	148.50
กากถั่วเหลือง	435.00	8.30	66.00	73.90	416.80
กากสาโท	387.80	129.90	100.60	11.20	370.50
ปลายข้าว	65.00	71.30	35.00	15.50	813.20
รำข้าว	91.70	144.50	107.30	85.50	571.00
มันเส้น	15.20	14.90	33.80	55.50	880.60

หมายเหตุ : [1]Nitrogen free extracts (NFE) คือสารสกัดที่ปราศจากไนโตรเจนของวัตถุดิบที่ปราศจากความชื้น = 100 - (%protein + %lipid + %fiber + %ash)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมของวัตถุดิบอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในสูตรอาหารต่างกัน 4 ระดับ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์)

วัตถุดิบ	**อาหารทดลอง (กรัมต่อกิโลกรัม)**					
	CA	**CB**	**D10**	**D20**	**D30**	**D40**
ปลาป่น	-	300	270	240	210	180
กากถั่วเหลือง	-	347	359	372	384	397
กากสาโท	-	0	30	60	90	120
ปลายข้าว	-	50	40	40	30	20
รำข้าว	-	40	40	30	30	30
มันเส้น	-	190	190	190	190	190
น้ำมันพืช	-	53	51	48	46	43
Premix vitamin	-	10	10	10	10	10
Premix mineral	-	10	10	10	10	10
องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร (กรัมต่อกิดลกรัม)						
โปรตีน	320.00	317.00	318.00	319.00	319.00	320.00
เยื่อใย	42.50	39.00	42.00	44.00	47.00	51.00
ไขมัน	68.00	93.00	92.00	88.00	87.00	84.00
เถ้า	96.00	111.00	105.00	98.00	92.00	86.00
Nitrogen free extract	418.50	366.00	369.00	375.00	379.00	383.00
DE (กิโลจูลต่อกรัม)[3]	14.90	14.91	14.94	14.91	14.94	14.91

หมายเหตุ : [1]การคำนวณ DE (กิโลจูลต่อกรัม) = (Crude protein×16.7)+(Crude fat×37.7)+ (NFE×16.7) ตามวิธีการของ Garling and Wilson (1977)

หลังจากนั้นนำวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีขนาดใหญ่มาบดด้วยเครื่องบดอาหารสัตว์ให้มีขนาด 0.5 มิลลิเมตร แล้วจึงนำส่วนผสมของอาหารในแต่ละสูตรมาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องผสมอาหารแบบแนวนอน ยกเว้นน้ำมันพืช และ premix ที่จะผสมเป็นลำดับสุดท้าย หลังจากผสมเสร็จแล้วนำไปเข้าเครื่องอัดเม็ดอาหารแบบลอยน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 125-150 องศาเซลเซียส จากนั้นนำอาหารแต่ละสูตรมาผึ่งให้แห้ง เมื่ออาหารแห้งเก็บอาหารใส่ถุง label สูตรอาหารที่ถุงให้เรียบร้อย เพื่อนำไปใช้เลี้ยงปลาต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบกรดอะมิโนที่จำเป็น ฟอสฟอรัส และแคลเซียมของกากสาโท และปลาป่น

Proximate composition (g/kg)	**กากสาโท**	**ปลาป่น**
Total phosphorus	2.68	31.85
Calcium	0.79	65.91
Essential amino acid (g/kg)		
Alanine	10.14	16.31
Arginine	<0.05	<0.05
Aspartic acid	7.51	15.62
Cystine	23.99	<0.05
Glutamic acid	52.68	33.21
Glycine	4.81	21.75
Histidine	31.38	41.00
Hydroxylysine	<0.05	<0.05
Hydroxyproline	<0.05	4.03
Isoleucine	22.48	30.89
Leucine	50.22	57.96
Lysine	28.57	160.94
Metionine	9.47	6.67
Phenylalanine	48.74	49.55
Proline	8.02	15.56
Serine	4.30	5.64
Threonine	3.40	9.39
Tryptophan	4.12	2.62
Tryrosine	71.33	60.73
Valine	15.52	17.42

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.4 แคลเซียม ฟอสฟอรัส และองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นในอาหารทดลองที่มีการใช้กากสาโทฑดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ กัน (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์)

วัตถุดิบ	**อาหารทดลอง (กรัมต่อกิโลกรัม)**					
	CA	CB	D10	D20	D30	D40
Calcium	-	14.54	16.41	15.36	15.82	14.81
Available Phosphorus	-	10.18	12.90	10.32	10.51	9.35
Arginine	-	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Cystine	-	4.40	4.40	4.40	4.50	3.40
Histidine	-	17.56	15.05	14.74	15.07	13.38
Isoleucine	-	16.12	14.91	14.78	14.69	15.25
Leucine	-	30.11	27.43	26.78	27.68	28.94
Lysine	-	53.07	46.17	50.34	52.63	42.23
Methionine	-	5.03	5.59	5.02	4.47	4.27
Methionine+Cystine	-	9.43	9.99	9.42	9.97	7.67
Phenylalanine	-	29.86	27.66	26.56	29.35	29.14
Threonine	-	5.37	5.09	5.16	5.39	4.67
Tryptophan	-	2.53	2.64	2.90	2.42	2.58
Valine	-	12.28	12.46	11.46	11.39	12.09

3.2.3 การเตรียมกระชัง

กระชังที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 1x1x1.5 เมตร เป็นจำนวน 18 กระชัง ซึ่งแขวนอยู่ในโครงกระชังเหล็กที่ลอยอยู่ในบ่อดินขนาด 10 ไร่ ความลึก 2 เมตร โดยทำการสุ่มกระชังด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย ด้วยการจับสลากดังนี้ เขียนหมายเลขกระชังทั้งหมด 18 กระชังด้วยหมายเลข 1-18 หมายเลข จากนั้นทำการจับสลากครั้งที่ 1 หมายเลขที่ได้ คือ ทรีทเมนต์ที่ 1 ซ้ำที่ 1 จับสลากครั้งที่ 2 หมายเลขที่ได้คือ ทรีทเมนต์ที่ 1 ซ้ำที่ 2 จับสลากจนถึงครั้งสุดท้าย หมายเลขที่ได้คือ ทรีทเมนต์ที่ 6 ซ้ำที่ 3 ดังแสดงในภาพที่ 3.1

ภาพที่ 3.1 กระชังที่ใช้สำหรับในการเลี้ยงปลาสวายโมง

3.2.4 การให้อาหารและการเก็บข้อมูล

เพื่อประเมินสรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร โดยให้ปลากินอาหารทดลองทั้งหมด 6 ทรีทเมนต์ ทรีทเมนต์ละ 3 ซ้ำ โดยให้ปลากินจนอิ่มทุกวัน วันละ 2 ครั้ง คือเวลา 08.30 น. และ 16.30 น. เป็นระยะเวลา 10 เดือน ทำการเก็บตัวอย่างปลาสวายโมง บันทึกข้อมูล โดยทำการชั่งน้ำหนัก วัดความยาวของปลา เพื่อใช้เป็นน้ำหนักและความยาวเริ่มต้น หลังสิ้นสุดการทดลองทำการชั่งน้ำหนักและวัดความยาวของปลา เพื่อเป็นน้ำหนักและความยาวสุดท้าย หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร ดังนี้

$$\text{Final weight (g)} = \frac{\text{น้ำหนักปลาหลังสิ้นสุดการเลี้ยงรวมทั้งหมด}}{\text{จำนวนปลาที่เหลือทั้งหมด}}$$

$$\text{Weight gain (g)} = \text{น้ำหนักปลาหลังสิ้นสุดการเลี้ยง-น้ำหนักปลาเริ่มต้น}$$

$$\text{Daily growth rate, DGR (g/day)} = \frac{\text{น้ำหนักปลาหลังสิ้นสุดการเลี้ยง-น้ำหนักปลาเริ่มต้น}}{\text{ระยะเวลาการเลี้ยง}}$$

$$\text{Specific growth rate, SGR (\%/day)} = \frac{[(\text{In น้ำหนักหลังสิ้นสุดการเลี้ยง-In น้ำหนักเริ่มต้น})] \times 100}{\text{ระยะเวลาในการเลี้ยง}}$$

$$\text{Feed conversion ratio, FCR} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ให้ปลากิน}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}$$

$$\text{Feed efficiency, FE (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}{\text{น้ำหนักอาหารที่ให้}} \times 100$$

$$\text{Protein efficiency ratio, PER} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}{\text{น้ำหนักของโปรตีนในอาหารที่ปลาได้รับ}}$$

$$\text{Survival rate (\%)} = \frac{\text{จำนวนปลาหลังสิ้นสุดการเลี้ยง}}{\text{จำนวนปลาที่ปล่อยเริ่มต้น}} \times 100$$

$$\text{Hepatosomatic index, HSI (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตับ}}{\text{น้ำหนักตัวปลา}} \times 100$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Cost per kg feed (Baht/kg) = ราคาวัตถุดิบอาหาร × จำนวนวัตถุดิบอาหารในแต่ละสูตร

Feed cost per kg FCR (Baht/kg) = ต้นทุนค่าอาหาร 1 กิโลกรัม × FCR

3.2.5 การเก็บตัวอย่างเลือดปลา

ทำการเก็บตัวอย่างเลือดปลาสวายโมงหลังสิ้นสุดการทดลอง โดยนำปลาสวายโมงจำนวน 9 ตัวต่อทรีทเมนต์ มาทำการสลบปลาด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้น 220 ppm เมื่อปลาสลบแล้วจึงทำการเจาะเลือดปลาบริเวณส่วนหาง (caudal fin) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ด้วยเข็มฉีดยาขนาด 21G แล้วนำเลือดใส่ลงในหลอดทดลองที่แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่หนึ่งใส่เลือดลงในหลอดที่มีการเคลือบด้วยสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (K_2EDTA) ทำการเก็บเลือดไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยา และค่ากลูโคสในเลือด ส่วนที่สองใส่เลือดลงในหลอดที่มีการเคลือบด้วยสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (K_2EDTA) จากนั้นนำตัวอย่างเลือดไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000 x g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที จะได้ส่วนที่เป็น plasma หลังจากนั้นใช้ Auto micropipette ดูด plasma ใส่ลงใน eppendorf ขนาด 1.5 มิลลิลิตร แล้วเก็บไว้ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์ค่าชีวเคมีในโลหิต และส่วนที่สามใส่เลือดลงในหลอด eppendorf ขนาด 1.5 มิลลิลิตร ที่ไม่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (K_2EDTA) โดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง เลือดจะเริ่มตกตะกอนบางส่วน จากนั้นนำตัวอย่างเลือดไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000 x g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที ใช้ Auto micropipette ดูดส่วนของ serum ใส่ลงใน eppendorf ขนาด 1.5 มิลลิลิตร แล้วเก็บที่ตู้แช่แข็งที่มีอุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์ระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2.6 การวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยา

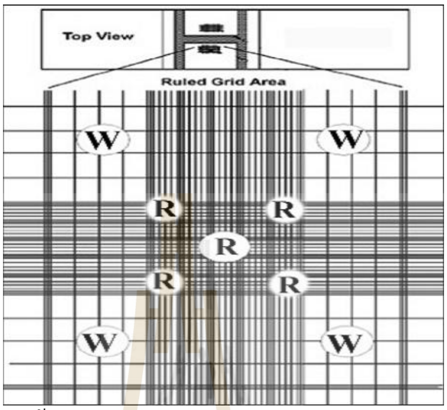
การวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยาสามารถทำได้โดย การนับจำนวนเม็ดเลือดแดง (RBC) การคำนวณค่าดัชนีเม็ดเลือดแดงการนับจำนวนเม็ดเลือดขาว (WBC) การตรวจจำแนกชนิดของเม็ดเลือดขาว การวัดค่าฮีโมโกลบิน และการวัดปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่น โดยมีวิธีการและขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้

3.2.6.1 การนับจำนวนเม็ดเลือดแดง (Red blood cell count; RBC)

การนับจำนวนเม็ดเลือดแดง (RBC) สามารถทำได้โดยนำตัวอย่างเลือดปลาในส่วนที่ 1 มาเจือจางด้วยน้ำยาเจือจาง Gower's solution (Sodium sulfate 12.5 g, Glacial acetic acid 33.3 ml ปรับน้ำกลั่นให้ได้ 200 ml) ทำการเจือจางเลือด 1 ส่วน ต่อ Gower's solution 200 ส่วน เขย่าให้เข้ากัน 2-3 นาที จากนั้นหยดเลือดที่ผสมกับน้ำยาเจือจางลงใน Hemocytometer chamber ให้เต็มทั้งสองด้าน แล้วนำมานับจำนวนเม็ดเลือดแดงด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยใช้เลนส์กำลังขยาย 40 เท่า นับในช่องพื้นที่ใหญ่ตรงกลาง ดังตัวอักษร R นับเพียง 5 ช่อง ตรงมุมบน ล่าง ซ้าย ขวา และตรงกลาง ดังภาพที่ 3.2

ตามวิธีการของ Blaxhall and Daisley (1973) แล้วนำมาคำนวณจำนวนเม็ดเลือดแดงต่อ 1 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ดังสูตร

RBC = จำนวนเม็ดเลือดแดงที่นับได้ทั้งหมดใน 5 ช่อง (R)×200 (1:200 dilution)×50 (10/0.02)



ภาพที่ 3.2 แสดงพื้นที่การนับเม็ดเลือดแดง (R) และเม็ดเลือดขาว (W)

ที่มา: Hrubec *et al.* (2000)

3.2.6.2 ค่าดัชนีเม็ดเลือดแดง (Wintrobe Erythrocyte indices) ประกอบด้วย

- ปริมาตรของเม็ดเลือดแดง (Mean corpuscular volume; MCV) คือ มีหน่วยเป็นเฟมโตลิตร (femtoliter, fl หรือ 10^{-15} L)

$$MCV = \frac{\text{Haematocrit (\%)} \times 10}{\text{RBC } (10^{12}/\text{L})}$$

- ปริมาณฮีโมโกลบินเฉลี่ยต่อเซลล์เม็ดเลือดแดง (Mean corpuscular haemoglobin; MCH) มีหน่วยเป็นพิโคกรัมต่อเซลล์ (picotograme/cell: 10^{-12} g/cell)

$$MCH = \frac{\text{Haemoglobin (g/L)} \times 10}{\text{RBC } (10^{12}/\text{L})}$$

- ความเข้มข้นเฉลี่ยของฮีโมโกลบินในเซลล์เม็ดเลือดแดง (Mean corpuscular haemoglobin concentration; MCHC) มีหน่วยเป็นกรัมต่อลิตร (g/L)

$$MCHC = \frac{\text{Haemoglobin (g/L)} \times 100}{\text{Haematocrit (\%)}}$$

3.2.6.3 การนับจำนวนเม็ดเลือดขาว (White blood cell count; WBC)

เจือจางเลือดปลาที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (เลือดส่วนที่ 1) ด้วยสารละลาย Dacies fluid (Formaldehyde 10 ml, Trisodium citrate 31.3 g, Brilliant cresyl blue 1.0 g และ น้ำ DI 1 ลิตร) โดยใช้ปิ

เปตสำหรับเจือจางเพื่อนับเม็ดเลือดขาว ดูดเลือดถึงขีด 0.1 จากนั้นดูด Dacies fluid ถึงขีด 11 จะได้อัตราส่วนเจือจาง 1:20 เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นหยดสารละลายทิ้ง 2-3 หยด แล้วนำมาหยดลงบนสไลด์สำหรับนับเม็ดเลือด Hematocytometer chamber ประมาณ 2-3 หยด แล้วปิดทับด้วยแผ่นปิดสไลด์ (cover glass) ตั้งทิ้งไว้ 2-3 นาที จากนั้นทำการนับจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีเลนต์กำลังขยาย 40x นับบริเวณพื้นที่ตัวอักษร W จำนวน 4 ช่อง ตรงมุมบน ล่าง ซ้าย และขวา (ภาพที่ 3.2) แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณหาจำนวนเม็ดเลือดขาวทั้งหมดต่อ 1 ลูกบาศก์มิลลิลิตร ดังสมการ

WBC = จำนวนเม็ดเลือดขาวที่นับได้ทั้งหมดใน 4 ช่อง (W)×2.5 (1.0/0.4)×20 (1:20dilution)

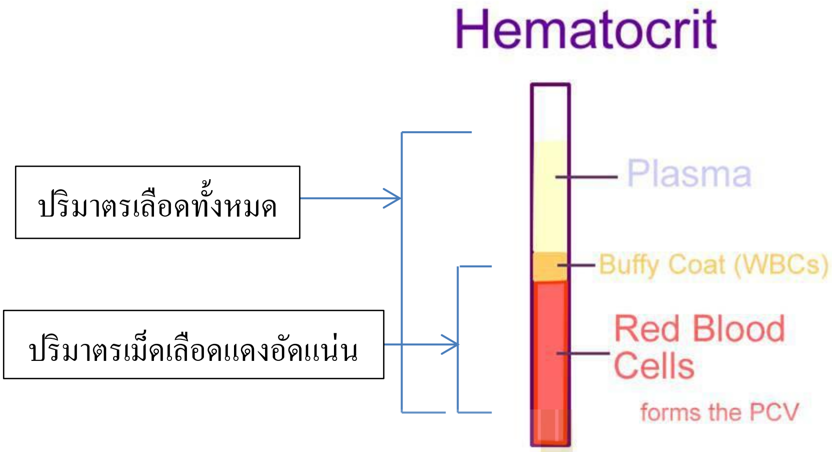
3.2.6.4 การวัดค่าฮีโมโกลบิน

การวิเคราะห์ปริมาณฮีโมโกลบินสามารถทำได้โดยใช้ชุด Haemoglobin set ซึ่งอาศัยหลักการของ Cyanmethemoglobin Method จากชุดทดสอบสำเร็จรูปของบริษัทแปซิฟิค ไบโอเทค จำกัด โดยเติมน้ำยา Drabkin Reagent ลงในหลอดแก้ว 5 มิลลิลิตร ใส่เลือดส่วนที่ 1 ลงในหลอด 20 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นจึงนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยใช้ Drabkin Reagent เป็น Blank ปรับ 0 จากนั้นนำค่าดูดกลืนแสงไปคำนวณหาค่าฮีโมโกลบินจากกราฟมาตรฐานซึ่งอยู่ในชุด Hemoglobin set

3.2.6.5 การวัดปริมาตรของเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (% Hematocrit; Hct)

สามารถทำได้โดยนำตัวอย่างเลือดที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดจากส่วนที่ 1 มาเขย่าเพื่อให้แน่ใจว่าเม็ดเลือดไม่ตกตะกอน จากนั้นนำปลายหลอด microheamatocrit capillary tube จุ่มลงในหลอดเก็บเลือดให้เลือดไหลเข้ามาใน capillary tube ประมาณ 2 ใน 3 ส่วนของความยาวหลอด จากนั้นทำการปิดปลายด้านหนึ่งของหลอด capillary tube ด้วยดินน้ำมัน และนำหลอด capillary tube ไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง haematocrit centrifuge ที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที นำมาอ่านค่าปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่นด้วย Microheamatocrit tube reader ตามวิธีของ Braxhall and Daisley (1973)

$$\% \text{ ฮีมาโตคริต} = \frac{\text{ปริมาตรของเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (เซนติเมตร)} \times 100}{\text{ปริมาตรเลือดทั้งหมด (เซนติเมตร)}}$$



ภาพที่ 3.3 ปริมาตรเลือดทั้งหมด และปริมาตรเม็ดเลือดแดงอัดแน่นใน microhaematocrit capillary tube ที่ผ่านการปั่นเหวี่ยง

ที่มา : https://ak47boyz90.wordpress.com/category/mmmp/page/48/

3.2.7 การวิเคราะห์ค่าชีวเคมีในโลหิต

3.2.7.1 การวิเคราะห์โปรตีนรวมในพลาสมา (Plasma total protein)

สามารถทำได้โดยใช้ชุดทดสอบ total protein set ซึ่งอาศัยหลักการของ Biuret method จากชุดทดสอบสำเร็จรูปของบริษัทแปซิฟิค ไบโอเทค จำกัด โดยใช้ auto micropipette ดูดเลือดปลาที่เก็บในส่วนที่ 2 ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอด eppendorf ที่มี biuret reagent 1 มิลลิลิตร เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 5 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร โดยใช้ biuret reagent เป็น blank ปรับ 0 จากนั้นนำค่าดูดกลืนแสงไปคำนวณความเข้มข้นของโปรตีนจากกราฟมาตรฐานซึ่งอยู่ในชุด Total protein set

3.2.7.2 การวิเคราะห์ปริมาณยูเรียไนโตรเจน (blood urea nitrogen) ในพลาสมา

นำเลือดปลาที่เก็บในส่วนที่ 2 มาทำการวิเคราะห์โดยใช้ชุดทดสอบ urea nitrogen (BUN) set ซึ่งอาศัยหลักการ enzymatic method จากชุดทดสอบสำเร็จรูปของบริษัทแปซิฟิค ไบโอเทค จำกัด แล้วใช้ auto micropipette ดูดเลือดปริมาตร 10 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอด eppendorf ที่มี working enzyme diluent ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550-600 นาโนเมตร โดยใช้ working enzyme diluent เป็น blank ปรับ 0 จากนั้นนำค่าดูดกลืนแสงไปคำนวณปริมาณยูเรียไนโตรเจนจากกราฟมาตรฐานซึ่งอยู่ในชุด urea nitrogen (BUN) set

3.2.7.3 การวิเคราะห์คอเลสเตอรอลในพลาสมา

สามารถทำได้โดยการใช้ชุดทดสอบ enzymatic colorimetric test ซึ่งอาศัยหลักการ CHOD-PAP method จากชุดทดสอบสำเร็จรูปของบริษัทแปซิฟิค ไบโอเทค จำกัด โดยใช้ auto micropipette ดูดเลือดปลาที่เก็บในส่วนที่ 2 ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอด eppendorf ที่มี

reagent ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วจึงนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 546 นาโนเมตร

3.2.7.4 การวิเคราะห์กลูโคสในเลือด

นำเลือดปลาในส่วนที่ 1 มาทำการวิเคราะห์หาระดับกลูโคสในเลือด โดยใช้เครื่อง Accutrend รุ่น GCT Meter (Mannheim Germany) ในการวัดระดับกลูโคสในเลือด ทำการใส่แผ่นทดสอบกลูโคสที่ต้องการทดสอบเข้าทางด้านท้ายของเครื่อง แล้วจึงทำการเปิดฝาเครื่อง จากนั้นหยดเลือดจำนวน 15 ไมโครลิตร ลงบนแผ่นทดสอบกลูโคสให้เต็มบริเวณแถบทดสอบแล้วปิดฝาเครื่อง และรอเครื่องอ่านผลทดสอบ

3.2.8 การวิเคราะห์การตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ

3.2.8.1 การวิเคราะห์ Lysozyme activity

สามารถทำได้โดยการเตรียมสารละลาย 0.1 M Phosphate citrate buffer (pH 5.8) และเตรียมสารละลายเชื้อ *Micrococcus lysodeikticus* ความเข้มข้น 0.075 เปอร์เซ็นต์ โดยชั่งผงเชื้อแบคทีเรีย *M. lysodeikticus* มา 37.5 มิลลิกรัม ละลายในบัฟเฟอร์ 50 มิลลิลิตร จากนั้นเตรียมสารละลายมาตรฐานไลโซไซม์ (Hen egg white lysozyme) ในสารละลาย 0.1 M Phosphate citrate buffer (pH 5.8) ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 0 2 4 6 8 10 12 และ 14 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นทำการดูดสารละลายมาตรฐานไลโซไซม์ตามความเข้มข้นที่เตรียมไว้หลุมละ 25 ไมโครลิตร ลงในถาดหลุม (96 well plate) และใส่ Serum ของเลือดในส่วนที่ 3 ตัวอย่างละ 25 ไมโครลิตร โดยใส่ตัวอย่างละ 3 หลุม ลงในถาดหลุม จากนั้นใส่สารละลายเชื้อแบคทีเรีย *M. lysodeikticus* ปริมาตร 175 ไมโครลิตร ลงในหลุมที่มี standard lysozyme และ Serum ลงในถาดหลุม จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร และบันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ 0 และ 30 นาที นำค่าดูดกลืนแสงครั้งแรกลบกับครั้งที่สอง แล้วนำค่าดูดกลืนแสงของ Standard lysozyme ความเข้มข้น 0 2 4 6 8 10 12 และ 14 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ไปสร้างกราฟเส้นตรงเพื่อหาความเข้มข้นของ lysozyme ใน Serum และเปรียบเทียบกับ Standard lysozyme ซึ่งดัดแปลงจากวิธีการของ Demer and Bayne (1997)

3.2.8.2 การวิเคราะห์ Alternative complements activity

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของคอมพลีเมนต์ ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการของ Sunyer and Tort (1995) สามารถทำได้โดยนำเม็ดเลือดแดงของแกะมาล้างด้วยสารละลาย Mg-EGTA-GVB แล้วปรับความเข้มข้นของเม็ดเลือดแดงให้ได้เท่ากับ 5×10^{7} เซลล์ต่อมิลลิลิตร จากนั้นทำการเจือจาง Serum ที่ได้จากตัวอย่างเลือดในส่วนที่ 3 ด้วย GVB 50 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลองที่มี Serum 50 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วปิเปตสารละลายจากหลอดที่ 1 ปริมาตร 50 ไมโครลิตรลงในหลอดที่ 2 ผสมให้เข้ากันแล้วปิเปตปริมาตร 50 ไมโครลิตรไปยังหลอดที่ 3 เจือจางต่อไปจนครบ 5 หลอดทดลอง จากนั้นเติม GVB อีกหลอดละ 200 ไมโครลิตร จะได้ความเข้มข้นของ serum ทั้ง 5 หลอด คือ

10 5 2.5 1.25 และ 0.625 เปอร์เซ็นต์ แล้วเติมเม็ดเลือดแดงของแกะ 40 ไมโครลิตร ลงในทุกหลอด โดยมี Positive control (100% lysis) เป็นหลอดที่ประกอบด้วยน้ำ DI 160 ไมโครลิตร และเม็ดเลือดแดง 40 ไมโครลิตร ส่วน Negative control (spontaneous lysis) คือ GVB 160 ไมโครลิตร และเม็ดเลือดแดง 40 ไมโครลิตร หลอดที่มีน้ำ DI ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 60 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นดูดส่วนใสลงใน 96 well plate นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร แล้วนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาค่า complement activity (ACH_{50} unit/ml) ซึ่งได้จากการพล็อตกราฟ Y/(100 – Y) ต่อปริมาตรของ Serum

$$Y = 100\,[Abs\,(A) - Abs\,(B)]/\,[Abs(C) - Abs\,(B)]$$

หมายเหตุ: A คือ ส่วนใสของหลุมที่เจือจางด้วย Serum

B คือ ส่วนใสของ Negative control

C คือ ส่วนใสของ Positive control

3.2.8.3 การวิเคราะห์ Total immunoglobulin

สามารถทำได้โดยการวิเคราะห์หาโปรตีนรวมในพลาสมา และโปรตีนของพลาสมาที่ผ่านการตกตะกอนของโปรตีนชนิดโกลบูลิน ด้วย Polyethylene glycol 12 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำความเข้มข้นของโปรตีนรวมนพลาสมาไปลบกับโปรตีนของพลาสมาที่ผ่านการตกตะกอนก็จะได้โปรตีนที่เป็นอิมมูโนโกลบูลินทั้งหมด โดยใช้ชุดทดสอบ Total protein kit ของบริษัทแปซิฟิค ไบโอเทค จำกัด ใส่ plasma ของเลือดในส่วนที่ 2 ปริมาตร 10 ไมโครลิตร เติม reagent 300 ไมโครลิตร ลงในหลอด eppendorf ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง 550 นาโนเมตร แล้วคำนวณความเข้มข้นของโปรตีนจากกราฟมาตรฐานซึ่งอยู่ในชุด total protein set ที่ดัดแปลงจากวิธีการของ Siwicki and Anderson (1993)

3.2.9 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ (Histological analysis)

หลังสิ้นสุดการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 เดือน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างปลาสวายโมงจำนวน 9 ตัวต่อทรีทเมนต์ โดยทำการสลบปลาด้วยน้ำมันกานพลู เมื่อปลาสลบแล้วทำการตัดเอาส่วนของลำไส้เล็กทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ ลำไส้เล็กส่วนต้น (Foregut) ส่วนกลาง (Midgut) และส่วนปลาย (Hindgut) จากนั้นนำลำไส้เล็กทั้ง 3 ส่วน มาแช่ในขวดที่มี phosphate-buffer formalin 10 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 7 วัน หลังจากนั้นนำลำไส้เล็กทั้ง 3 ส่วน มาล้างน้ำสะอาดให้น้ำไหลผ่านประมาณ 10 นาที แล้วนำไปแช่ในแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ และนำเนื้อเยื่อมาฝังในบล็อกพาราฟีน (paraffin) ทิ้งไว้ให้พาราฟีนแข็งตัว

นำบล็อกพาราฟินที่มีชิ้นเนื้อเยื่อฝังอยู่มาตัดหน้าบล็อกด้วยเครื่องไมโครโตรม (microtome) ให้เนื้อเยื่อมีความหนาประมาณ 5 µm แล้วนำเนื้อเยื่อที่ตัดแล้ว (section) มาวางติดบนสไลด์ และนำสไลด์ที่ได้มาย้อมสีด้วย Haematoxylin และ Eosin (H&E) จากนั้นจึงทำการวัดความสูงของเยื่อบุผิวของ villus ในส่วนของลำไส้เล็กทั้ง 3 ส่วนที่ติดสีย้อมภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10 เท่า โดยวัดจากปลายของวิลไลจนถึงฐานของวิลไล และนับจำนวนของ goblet cell ในแต่ละตัวอย่าง ตามวิธีการของ Kowalska, Zakes, Jankowska and Siwicki (2010)

3.2.10 การเก็บตัวอย่างเนื้อปลา

เก็บตัวอย่างเนื้อของปลาสวายโมงหลังสิ้นสุดการทดลองเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 เดือน โดยสุ่มเก็บตัวอย่างเนื้อปลาจากปลาสวายโมง 9 ตัว/ทรีทเมนต์ บันทึกน้ำหนักและความยาวของปลา หลังจากนั้นทำการตัดเหงือกปลาแล้วแช่ปลาลงในน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 1 องศาเซลเซียส โดยให้เลือดไหลออกทางเหงือกเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของเลือดในเนื้อปลา จากนั้นจึงทำการแล่เนื้อปลาสวายโมงออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้านซ้าย และด้านขวา ดังภาพที่ 3.4 ล้างเนื้อปลาด้วยน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แล้วพักไว้บนตะแกรงประมาณ 5 นาที จากนั้นบันทึกน้ำหนักของเนื้อปลา และทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของเนื้อปลา โดยนำเนื้อปลาทางด้านขวามาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเนื้อปลา ได้แก่ ค่าการสูญเสียน้ำของเนื้อปลาระหว่างการเก็บ (Drip loss) ค่าการสูญเสียน้ำเนื่องจากการทำให้สุก (Cook loss) ค่าสีและค่าความขาวของเนื้อปลา และลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อปลาที่ทำให้สุก ส่วนเนื้อปลาทางด้านซ้ายนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของเนื้อปลา ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา

ภาพที่ 3.4 เนื้อปลาสวายโมงแล่ (fillet) ด้านซ้าย และด้านขวา

3.2.10.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเนื้อปลา

1. ค่าการสูญเสียน้ำของเนื้อปลาระหว่างการเก็บ (Drip loss)

นำเนื้อปลาที่ทำการเก็บรักษาในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส มาทำละลายบนตะแกรงที่อุณหภูมิห้อง จนอุณหภูมิของเนื้อปลาเท่ากับอุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักเนื้อ

ปลาหลังการทำละลาย และคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บ ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการของ Rouillé, Lebail, Ramaswamy and Leclerc (2002) ดังสมการ

$$\text{Drip loss (\%)} = \frac{\text{(น้ำหนักเนื้อปลาเริ่มต้น - น้ำหนักเนื้อปลาหลังการทำละลาย)}}{\text{น้ำหนักเนื้อปลาเริ่มต้น}} \times 100$$

2. ค่าการสูญเสียน้ำเนื่องจากการทำให้สุก (Cooking loss)

นำเนื้อปลาที่ได้จากการทำ drip loss มาใส่ในถุงสุญญากาศและ label ถุงให้เรียบร้อย แล้วจึงนำเนื้อปลาไปต้มที่อ่างน้ำร้อน (water bath) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที จากนั้นนำเนื้อปลามาแช่ในน้ำเย็นทันทีเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำเนื้อปลาไปผึ่งไว้บนตะแกรงเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นจึงทำการชั่งน้ำหนักเนื้อปลาหลังต้มสุก และคำนวณเปอร์เซ็นต์ค่าการสูญเสียน้ำเนื่องจากการทำให้สุก ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการของ Rouillé *et al.* (2002) ดังสมการ

$$\text{Cooking loss (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อปลาเริ่มต้น - น้ำหนักเนื้อปลาหลังการทำให้สุก}}{\text{น้ำหนักเนื้อปลาเริ่มต้น}} \times 100$$

3. การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อปลาต้มสุก (Puncher force)

สามารถทำได้โดยนำเนื้อปลาที่ได้จากการทำ Cook loss มาตัดชิ้นเนื้อให้ได้ขนาดเท่ากับ 2x2 เซนติเมตร (กว้าง×ยาว) หลังจากนั้นนำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA.XT. Plus, Stable Micro Systems, Surrey, UK; ภาพที่ 3.5) ซึ่งใช้หัววัดแบบ Cylindrical probe ขนาด 10 มิลลิเมตร ที่มีอัตราการเคลื่อนที่ของหัววัด 1 มิลลิเมตร/นาที ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการของ Regost, Jakobsen and Røra (2004)

ภาพที่ 3.5 เครื่อง Texture Analyzer ใช้สำหรับวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อปลา

4. การวิเคราะห์ค่าสีและค่าความขาวของเนื้อปลา

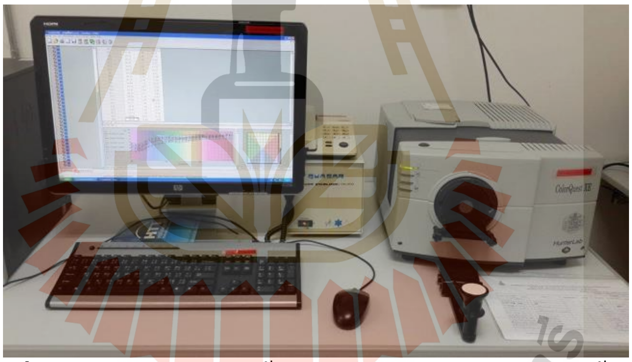
การวิเคราะห์ค่าสีและความขาวของเนื้อปลาสดและเนื้อปลาต้มสุก สามารถทำได้โดยนำเนื้อปลามาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง×ยาว เท่ากับ 3×3 เซนติเมตร จำนวน 3 ตำแหน่ง/เนื้อปลา 1 ชิ้น จากนั้นจึงนำเนื้อปลาที่ได้ไปวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Colorimeter ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น ColorQuest XE (Hunter Associates Laboratory Inc., Virginia, USA; ภาพที่ 3.6) ซึ่งข้อมูลที่ได้แสดงเป็นค่า L* (lightness) ค่า a* (redness) และค่า b* (yellowness) ภายใต้ระบบ CIE (Complete International Commission on Illumination) ตามวิธีการของ Hunter (1987) และวัดค่าความขาวของเนื้อปลา (Whiteness) สามารถคำนวณได้ดังสมการนี้

$$\text{Whiteness} = 100-[(100-L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$$

ซึ่ง ค่า L* คือ ค่าความสว่าง มีค่าระหว่าง 0 (สีดำ) – 100 (สีขาว)

ค่า a* คือ ค่าบวก (+) แสดงถึงค่าสีแดง, ค่าลบ (-) แสดงถึงค่าสีเขียว

ค่า b* คือ ค่าบวก (+) แสดงถึงค่าสีเหลือง, ค่าลบ (-) แสดงถึงค่าสีน้ำเงิน



ภาพที่ 3.6 เครื่องมือวัดสีเนื้อปลาและค่าความขาวของเนื้อปลา

3.2.10.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของเนื้อปลา

1. การวิเคราะห์ความเป็นกรดและด่าง (pH)

นำเนื้อปลาที่บดละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันมาชั่งน้ำหนัก 10 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร ปั่นให้เข้ากันและวัดความเป็นกรดและด่างด้วย pH meter โดยวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ตามวิธีการของ Benjakul and Bauer (2001)

2. การวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา

หลังสิ้นสุดการทดลองเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 เดือน นำตัวอย่างเนื้อปลาทางด้านซ้ายที่แล่เอาหนังออกมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด จากนั้นนำตัวอย่างเนื้อปลาที่ได้มาวิเคราะห์หาองค์ระกอบทางเคมีโดยใช้วิธีการของ AOAC (2000) ได้แก่ การวิเคราะห์ความชื้น (Moisture) ด้วยวิธี Oven drying การวิเคราะห์โปรตีนหยาบ (Crude Protein) ด้วยวิธี macro-Kjeldahl การวิเคราะห์ไขมัน (Crude lipid) ด้วยวิธี ether extraction และการวิเคราะห์เถ้า (Ash) ด้วยวิธี muffle furnace combustion

3.2.11 การวิเคราะห์ทางสถิติ

เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ โดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SPSS Version 16.0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 ผลของการใช้กากสาโทหดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้

ผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงที่ระดับต่างกัน 4 ระดับ คือ 10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ (D10 D20 D30 และ D40) และมีอาหารกลุ่มควบคุม 2 กลุ่ม ได้แก่ อาหารสูตรทางการค้า (CA) และอาหารสูตรที่ผลิตขึ้นเองที่ไม่มีการใช้กากสาโท (CB) จากผลการศึกษา พบว่า การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับ 10-30 เปอร์เซ็นต์ (D10-D30) มีน้ำหนักสุดท้าย (Final weight) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain) และอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (DGR) สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า ($P<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในกระบวนการผลิตสาโทนั้นจะประกอบไปด้วยเชื้อรา (*Rhizopus* sp. หรือ *Aspergillus* sp.) และยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*)โดยเชื้อราจะสร้างเอนไซม์กลุ่มอะไมเลสมาย่อยแป้งในเม็ดข้าวเหนียวให้เป็นน้ำตาล จากนั้นจะเติมเชื้อยีสต์ ซึ่งยีสต์นี้จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ ในขั้นตอนการหมักนี้เชื้อยีสต์มีความต้องการอาหารโดยเฉพาะสารประกอบไนโตรเจนสูง ซึ่งยีสต์สามารถใช้ ammonium ion (NH_4^+) และสามารถเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโน โปรตีน เอนไซม์ และสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนได้ โดยเชื้อยีสต์สามารถเปลี่ยนไนโตรเจนอนินทรีย์ให้เป็นไนโตรเจนอินทรีย์ได้แล้วสะสมเอาไว้ในเซลล์ ซึ่งมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ดังนั้นส่วนที่เหลือในกากสาโทจึงมีสารประกอบไนโตรเจนสูง จึงทำให้กากสาโทมีโปรตีนสูงถึง 38 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็นชนิดต่าง ๆ มีระดับแคลเซียมอยู่ในช่วง 1.54-1.64 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับฟอสฟอรัส 1.03-1.29 เปอร์เซ็นต์ (ดังแสดงในตารางที่ 3.4) ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของปลาในกลุ่ม Catfish โดยระดับความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นชนิดต่าง ๆ เช่น อาร์จินีน ฮิสทิดีน ไอโซลิวซีน ลิวซีน ไลซีน เมทไธโอนีน ฟินิลแอลานีน ทรีโอนีน ทริปโตเฟน และวาลีน ในอาหารสำหรับการเจริญเติบโตปกติของปลา คือ 1.00 0.40 0.60 0.80 1.20 0.50 1.20 0.50 0.12 และ 0.71 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ อีกทั้งระดับความต้องการแคลเซียม และฟอสฟอรัสในอาหารสำหรับการเจริญเติบโตปกติในกลุ่ม Catfish คือ 0.7 และ 0.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (NRC, 1993) ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าการใช้ผลพลอยได้ที่ได้จากยีสต์ทดแทนปลาป่นได้ถึงระดับ 30-50 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลา African catfish (Bob-Manuel, 2014) ปลานิล (Bob-Manuel and Alfred-Ockiya, 2011) ปลา Koi carp (Korkmaz and Cakirogullari, 2011) และปลาสวายโมง (Pongpet *et al.*, 2015) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Vechklang *et al.* (2011) พบว่า สามารถใช้กาก

สาโทททดแทนปลาป่นได้ถึงที่ระดับ 22.5 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของลูกปลานิลวัยอ่อน

ปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับ 10-30 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีการกินได้ (feed intake) ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (FE) และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) ไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม (CA และ CB) ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทในระดับเพิ่มสูงขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีค่า Feed intake FE และ PER ต่ำที่สุด ($P<0.05$; ดังตารางที่ 4.1) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความน่ากินในอาหารลดลงจึงทำให้ feed intake ลดลง ส่งผลทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตลดต่ำลง ซึ่งความน่ากินของอาหารมีอิทธิพลอย่างมากต่อการกระตุ้น feed intake ในปลา (Kader and Koshio, 2012) เนื่องจากปลาค้นหากลิ่นและรสชาติของอาหารด้วยตุ่มรับรสบริเวณหนวดและมีการตอบสนองไวต่อความน่ากินของอาหาร (Finger *et al.*, 1991; Bone and Moore, 2008) หรืออาจเกิดจากสารต้านโภชนะชนิดต่าง ๆ ในอาหาร เช่น ปริมาณเยื่อใย และระดับของกากถั่วเหลืองในอาหารที่เพิ่มขึ้น จะไปลดความสามารถในการใช้ประโยชน์ของสารอาหารแล้วยังลดการกินอาหารด้วย (Ostaszewska, Dabrowski, Palacios, Olejniczak, Wieczorek, 2005) สอดคล้องกับ Fagbenro and Davie (2001) รายงานว่า ระดับของกากถั่วเหลืองในอาหารที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ feed intake PER และการใช้ประโยชน์ของสารอาหารลดลงในปลา African catfish เช่นเดียวกับการรายงานของ Vechklang *et al.* (2011) พบว่า เมื่อใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในระดับที่เพิ่มสูงขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ความน่ากินในอาหารลดลง นอกจากนี้คุณสมบัติทางกายภาพของอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งความแข็ง และความหยาบของเม็ดอาหารมีผลต่อการกินและการใช้ประโยชน์ของอาหารในปลา (Nelson, 1989) ซึ่งในอาหารสูตร D40 มีการเพิ่มปริมาณกากสาโทในสูตรอาหารเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้อาหารเม็ดมีลักษณะแข็ง หยาบ และมีความหนาแน่นของอาหารเม็ดสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารเม็ดในสูตรอื่น ๆ จึงมีผลทำให้อาหารเม็ดบางส่วนจมลงปลาจึงได้รับอาหารไม่เพียงพอ นอกจากนี้ปลาสวายโมงที่ใช้ในการเลี้ยงมีการกินอาหารที่ผิวน้ำและมีฟันซี่เล็ก อาหารที่มีความแข็งหยาบอาจไม่เหมาะกับปลาสวายโมง จึงส่งผลกระทบต่อการกินได้และการใช้ประโยชน์ของอาหารในปลา นำไปสู่การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดต่ำลง และการเพิ่มขึ้นของปริมาณเยื่อใยในอาหารสูตร D40 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.1 เปอร์เซ็นต์ โดยปกติในสูตรอาหารปลาส่วนใหญ่ไม่ควรมีเยื่อใยเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ (NRC, 1993) เนื่องจากเยื่อใยที่สูงเกินไปมีผลทำให้ลดความสามารถในการย่อยและการดูดซึมของสารอาหารลดลง ส่งผลทำให้ feed intake และประสิทธิภาพในการใช้อาหารลดต่ำลง นอกจากนี้อาหารในสูตร D40 มีกรดอะมิโนเมทไธโอนีน เพียง 0.43 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าค่าปกติที่ควรมีในสูตรอาหารคือ 0.50 เปอร์เซ็นต์ จึงน่าจะส่งผลทำให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดต่ำลง ทั้งนี้การสังเคราะห์โปรตีนจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อเซลล์ได้รับกรดอะมิโนที่จำเป็นครบทุกชนิดในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของปลา ถ้าหากขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นชนิดใดชนิดหนึ่งหรือกรดอะมิโนบางตัวเกินความต้องการ การสังเคราะห์โปรตีนจะไม่เกิดขึ้นกรดอะมิโนจะถูกส่งกลับมาสลายตัวที่ตับโดยกระบวนการดีอมิเนชัน (deamination) และถูก

ขับถ่ายออกนอกร่างกายทำให้ปลาใช้ประโยชน์จากอาหารได้ต่ำ จึงส่งผลทำให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดต่ำลง (เวียง, 2542) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า การขาดกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหาร มีผลทำให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดต่ำลงในปลาบางชนิด เช่น ในปลา yellow croaker (Mai, Wan, Ai, Xu, Liufu, Zhang and Li, 2006) ปลาช่อน (Lunger *et al.,* 2006) ปลา Jian carp (Tang, Wang, Jiang, Feng, Yang, Li and Zhou, 2009) ปลา Indian catfish (Ahmed, 2014) และปลากดเหลือง (Elmada, Huang, Jin, Liang, Mai and Zhou, 2016)

ปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับ 10-30 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (CA และ CB) ในขณะที่การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในระดับเพิ่มสูงขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ FCR สูงที่สุด ($P<0.05$; ดังตารางที่ 4.1) ซึ่งการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหารต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำที่สุด (50.00 บาทต่อกิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.2) ดังนั้นการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้ทำสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงปลาสวายโมง โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร อีกทั้งยังมีต้นทุนค่าอาหารถูกที่สุด

นอกจากนี้การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง พบว่า ไม่มีผลต่อค่าดัชนีน้ำหนักตับ (HSI) ในปลาสวายโมง ($P>0.05$; ดังตารางที่ 4.1) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารไม่ส่งผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมและเนื้อเยื่อที่ใช้ในการดูดซึมสารอาหารในตับ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Pongpet *et al.* (2015) พบว่า การทดแทนปลาป่นด้วย brewer's yeast ไม่มีผลต่อค่าดัชนีน้ำหนักตับ และหลังสิ้นสุดการทดลองเลี้ยงปลาสวายโมงเป็นระยะเวลา 10 เดือน พบว่า ปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารในทุกทรีทเมนต์ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการรอด

การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้จัดเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับใช้ในการประเมินโภชนะของปลา (Caballero, Izquierdo, Kjørsvik, Montero, Socorro, Fernández and Rosenlund, 2003; Green and McCornick, 1999) เนื่องจากลำไส้เป็นอวัยวะที่มีความสำคัญสำหรับการย่อยและการดูดซึมของสารอาหาร จากการศึกษา พบว่า สามารถใช้กากสาโททดแทนปลาป่นได้ถึงระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลกระทบต่อความสูงของวิลไลและจำนวน goblet cells ในลำไส้ส่วน Foregut และ Midgut เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (CA และ CB) ($P>0.05$; ดังภาพที่ 4.1a,b) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในอาหารมีแหล่งของโปรตีน อีกทั้งยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็นชนิดต่าง ๆ มีระดับแคลเซียมในอาหาร 1.54-1.64 เปอร์เซ็นต์ และระดับฟอสฟอรัสในอาหาร 1.03-1.29 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของปลา จึงทำให้การดูดซึมของสารอาหารมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อีกทั้งการเพิ่มความสูงของวิลไลยังสามารถช่วยในการเพิ่มพื้นที่ผิวและความสามารถในการดูดซึมของสารอาหารได้มากขึ้น (Caspary, 1992) สอดคล้องกับ Vechklang *et al.* (2011) พบว่า การใช้กากสาโททดแทนปลาป่น 22.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มความสูงของวิลไลและลด

ความหนาของเยื่อบุผิวทำให้กระบวนการดูดซึมสารอาหารดีขึ้นในปลานิล เช่นเดียวกับการศึกษาของ Zhu *et al.* (2012) พบว่า การใช้ยีสต์ในอาหารมีผลทำให้ความสูงของวิลไลในลำไส้เพิ่มสูงขึ้นในปลา channel catfish เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้การรายงานของ Dimitroglou, Merrifield, Spring, Sweetman, Moate and Davies (2010) พบว่า ปลา gilthead sea bream ที่ได้เสริมด้วย mannan oligosaccharide มีผลทำให้ความสูงและความหนาของวิลไลสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตามการใช้กากสาโทแทนปลาป่นในระดับที่เพิ่มสูงขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ความสูงของวิลไลในลำไส้ส่วน Foregut และ Midgut ลดลง ($P<0.05$; ดังภาพที่ 4.1a) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการมีเยื่อใยในอาหารที่เพิ่มสูงขึ้นในอาหารมีผลต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลดลง โดยเยื่อใยจะไปขัดขวางการย่อยและการดูดซึมของโภชนะตัวอื่นด้วย ทำให้ความสามารถในการดูดซึมสารอาหารลดลงและมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาลดลงด้วย เมื่อปลาสวายโมงได้รับสารอาหารไม่เพียงพอจะทำให้ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ (วิลไล) พัฒนาได้ไม่เต็มที่จึงส่งผลให้การเจริญเติบโตลดต่ำลง สอดคล้องกับการศึกษาในปลาชนิดอื่น ๆ เช่น ในปลา rainbow trout (Storebakken, 1985) ปลา African catfish (Leenhouwers, Adjei-Boateng, Verreth and Schrama, 2006) และปลาสวายโมง (Pongpet *et al.*, 2015) เช่นเดียวกับ Vechklang *et al.* (2011) ชี้ให้เห็นว่าการใช้กากสาโทในระดับที่เพิ่มสูงขึ้นที่ 30 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ของปลานิล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.1 สมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 10 เดือน

Parameter	**อาหารทดลอง**					
	CA	**CB**	**D10**	**D20**	**D30**	**D40**
Initial weight (g)	218.43±1.07	218.70±1.65	221.12±0.42	220.64±0.73	222.74±1.24	220.62±4.08
Final weight (g)	1,558.30±8.33^{b}	1,736.70±42.20^{a}	1,695.80±29.02^{a}	1,725.60±27.15^{a}	1,703.90±12.84^{a}	1,369.40±1.39^{c}
Weight gain (g)	1,343.40±8.05^{b}	1,521.12±42.94^{a}	1,478.00±29.24^{a}	1,508.50±26.79^{a}	1,484.70±12.30^{a}	1,152.30±1.18^{c}
DGR (g/day)	4.16±0.03^{b}	4.71±0.13^{a}	4.58±0.09^{a}	4.67±0.08^{a}	4.60±0.04^{a}	3.57±0.00^{c}
SGR (%/day)	0.62±0.00^{c}	0.65±0.01^{a}	0.64±0.00^{b}	0.65±0.01^{ab}	0.64±0.00^{b}	0.57±0.00^{d}
FCR	2.17±0.05^{b}	2.18±0.02^{b}	2.10±0.02^{b}	2.06±0.04^{b}	2.08±0.04^{b}	2.39±0.14^{a}
Feed intake (g/day)	579.73±18.52^{bc}	667.91±26.87^{a}	616.82±14.61^{ab}	621.12±14.80^{ab}	627.74±9.96^{ab}	548.76±31.86^{c}
FE (%)	46.42±1.17^{a}	46.03±0.47^{ab}	47.93±0.21^{a}	48.60±0.93^{a}	48.25±0.93^{a}	42.28±2.40^{b}
PER	1.45±0.04^{a}	1.46±0.01^{a}	1.51±0.01^{a}	1.52±0.03^{a}	1.51±0.03^{a}	1.32±0.07^{b}
HSI (%)	1.44±0.09	1.34±0.14	1.25±0.12	1.39±0.07	1.44±0.10	1.35±0.10
Survival rate (%)	89.39±0.32	80.65±6.45	89.65±0.21	87.84±1.99	87.88±1.25	87.96±2.04

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

CA (อาหารเม็ดสำเร็จรูปสูตรทางการค้า); CB (อาหารที่ผลิตขึ้นเองที่ไม่ใช้กากสาโท); D10 (ทดแทนด้วยกากสาโท 10%); D20 (ทดแทนด้วยกากสาโท 20%); D30 (ทดแทนด้วยกากสาโท 30%); D40 (ทดแทนด้วยกากสาโท 40%); DGR (Daily growth rate); SGR (Specific growth rate); FCR (feed conversion ratio); FE (Feed efficiency); PER (Protein efficiency ratio); HSI (Hepatosomatic Index)

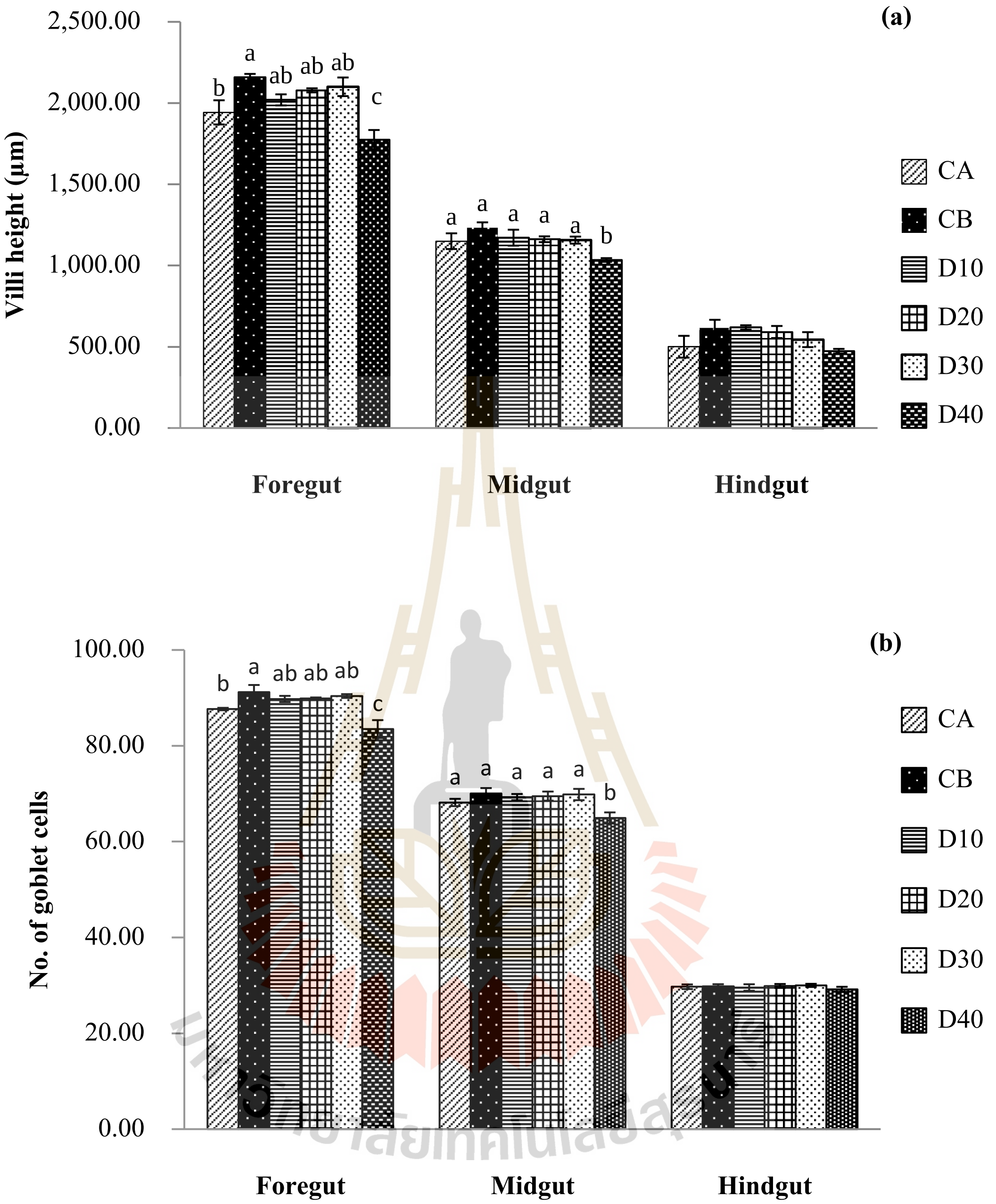
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.2 ส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหาร (กรัมต่อกิโลกรัม) และต้นทุนค่าอาหารของปลาสวายโมงที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร

วัตถุดิบอาหาร	**ราคา[1] (บาท)**	**อาหารทดลอง (กรัมต่อกิโลกรัม)**					
		CA	**CB**	**D10**	**D20**	**D30**	**D40**
ปลาป่น	30.20	-	300	270	240	210	180
กากถั่วเหลือง	20.60	-	347	359	372	384	397
กากสาโท	10.00	-	0	30	60	90	120
ปลายข้าว	9.20	-	50	40	40	30	20
รำข้าว	6.80	-	40	40	30	30	30
มันเส้น	6.30	-	190	190	190	190	190
น้ำมันพืช	48.00	-	53	51	48	46	43
Premix vitamin	250.00	-	10	10	10	10	10
Premix mineral	250.00	-	10	10	10	10	10
รวมทั้งหมด (กรัม/กิโลกรัม)		1000	1000	1000	1000	1000	1000
ต้นทุนค่าอาหาร (บาทต่อกิโลกรัม)		26.00	25.68	25.13	24.58	24.04	23.46
ต้นทุนค่าอาหาร (บาทต่อกิโลกรัม) ต่อ FCR		56.42	55.98	52.77	50.63	50.00	56.07

หมายเหตุ : [1]ราคาวัตถุดิบอาหาร (บาทต่อกิโลกรัม) เมื่อวันที่ 30 มีนาคม 2556

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 4.1 ผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อความสูงของวิลไล (a) และจำนวน goblet cell (b) ในส่วนของลำไส้เล็กของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 10 เดือน ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนแท่งกราฟ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.2 ผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อค่าโลหิตวิทยา ค่าชีวเคมีของโลหิต และการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันของปลา

ค่าโลหิตวิทยา (Haematology) และค่าชีวเคมีในโลหิต (biochemical blood) เป็นดัชนีที่สำคัญที่ใช้ในการตรวจสอบทางด้านสุขภาพของปลา การตอบสนองทางสรีระวิทยา ทางโภชนาการ และการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อปลา (Cnaani *et al*., 2004; Garcia-Rodriguez *et al*., 1987; Hoseinifar *et al*., 2011) หากค่าโลหิตวิทยามีการเปลี่ยนแปลง นั่นหมายถึง มีความผิดปกติของระบบใดระบบหนึ่งเกิดขึ้นภายในร่างกายของตัวปลา จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงไม่มีผลต่อค่าโลหิตวิทยา (WBC MCV MCH MCHC haemoglobin haematocrit lymphocyte และ thrombocyte) (P>0.05; ดังตารางที่ 4.3) สอดคล้องกับการศึกษาของ Pongpet *et al*. (2015) พบว่า การทดแทนปลาป่นด้วย brewer's yeast (*S.cerevisiae*) ไม่มีผลกระทบต่อค่าโลหิตวิทยาในปลาสวายโมง เช่นเดียวกับ Welker, Lim, Yildirim-Aksoy, Shelby and Klesius (2007) ที่มีการเสริมยีสต์ (*S.cerevisiae*) ที่ระดับ 0.2 เปอร์เซ็นต์ ในอาหาร พบว่า ไม่มีผลต่อค่าโลหิตวิทยา (WBC RBC Hct และ Hb) ในปลากดอเมริกัน และจากการศึกษาของ Hoseinifar *et al*. (2011) แสดงให้เห็นว่า การเสริมยีสต์ที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลกระทบต่อค่าโลหิตวิทยาในปลา Beluga อีกทั้งการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง พบว่า ไม่มีผลกระทบต่อค่าชีวเคมีในโลหิต (กลูโคส และโปรตีนในพลาสมา) ของปลาสวายโมง (P>0.05; ดังตารางที่ 4.3) โดยค่าเฉลี่ยของกลูโคสในเลือดของปลาสวายโมงในการศึกษานี้อยู่ในช่วง 4.14-4.74 mmol/L ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่เป็นปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับปลาในกลุ่ม Catfish (ปลา upside-down catfish) ซึ่งมีระดับกลูโคสอยู่ในช่วง 1.20-21.00 mmol/L (Owolabi, 2011) ในปลากดอเมริกัน 0.94-4.80 mmol/L (Tavares-Dias and Moraes, 2007) ในปลาสวายโมง 4.51-4.83 mmol/L (Pongpet *et al*., 2015) และในปลานิล 1.67-3.83 mmol/L (Hrubec *et al*., 2000) แสดงให้เห็นว่า การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารไม่มีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในปลาสวายโมง นอกจากนี้ปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือด (Blood urea nitrogen; BUN) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดปริมาณและคุณภาพของโปรตีนในอาหาร หากในอาหารมีโปรตีนเกินความต้องการของร่างกายสัตว์ สัตว์จะขับออกมาในรูปของเสียประเภทยูเรีย แต่สำหรับในปลาส่วนใหญ่จะมีความสามารถในการขับของเสียที่เกิดจากการสลายโปรตีนออกจากร่างกายโดยเหงือกและไต ส่วนใหญ่ของเสียที่ได้จะออกมาในรูปของแอมโมเนีย และยูเรียเป็นส่วนน้อยมาก ยูเรียที่อยู่ในพลาสมาของปลาจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อสภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว อาหารก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการผลิตยูเรียในเลือดของปลา (Ajeniyi and Solomon, 2014) โดยค่าเฉลี่ยของ BUN ของปลาสวายโมงในการศึกษานี้อยู่ในช่วง 0.30-0.31 mmol/L ซึ่งอยู่ในช่วงของปลากลุ่ม Catfish (ปลาดุกบิ๊กอุย) ซึ่งอยู่ในช่วง 0.30-3.40 mmol/L (Myburgh, Botha, Booyse and Reyers, 2008) ซึ่งถือว่าเป็นค่าปกติ และมีค่า BUN ต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการศึกษาของ Pongpet *et al*. (2015) ในปลาสวายโมงอยู่ในช่วง 0.32-0.35 mmol/L แสดงให้เห็นว่า การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพและปริมาณของ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โปรตีนในอาหาร ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับ D10-D40 มีผลทำให้ค่า cholesterol ในเลือดต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารที่ผลิตขึ้นเองที่ไม่มีการใช้กากสาโท (CB) ($P<0.05$; ดังตารางที่ 4.3) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณเยื่อใยที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหารที่มีการใช้กากสาโท จะไปขัดขวางการย่อยและการดูดซึมไขมันหรือคอเลสเตอรอลบริเวณลำไส้เล็ก จึงทำให้สารตั้งต้นในการผลิตคอเลสเตอรอลลดลง อีกทั้งยังขัดขวางการดูดกลับของน้ำดีที่ร่างกายหลั่งออกมาเพื่อสลายโมเลกุลของไขมันจึงส่งผลให้ร่างกายต้องผลิตน้ำดีขึ้นมาใหม่ ซึ่งร่างกายต้องใช้คอเลสเตอรอลในการสังเคราะห์กรดน้ำดี จึงส่งผลทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลลดลง (St-Onge, Farnworth and Jone, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับหลายการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของไขมันและการบริโภคอาหาร (Ebiharam and Schneeman, 1989; Kraugerud, Penn, Storebakken, Refstie, Krogdahl and Svihus, 2007; Øverland, Sørensen, Storebakken, Penn, Krogdahl and Skrede, 2009; Refstie, Svihus, Shearer and Storebakken, 1999; Tocher, Bendiksen, Campbell and Bell, 2008) นอกจากนี้การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในระดับที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้ไขมันในสูตรอาหารลดต่ำลง เมื่ออาหารที่ปลาได้รับมีไขมันน้อยไม่เพียงพอทำให้ร่างกายได้รับพลังงานและกรดไขมันชนิดจำเป็นน้อยตามไปด้วย ร่างกายจึงต้องหาพลังงานจากแหล่งอื่นรวมทั้งการสลายไขมันที่สะสมในร่างกายออกมาใช้ จึงส่งผลทำให้คอเลสเตอรอลในเลือดลดลง (เวียง, 2542)

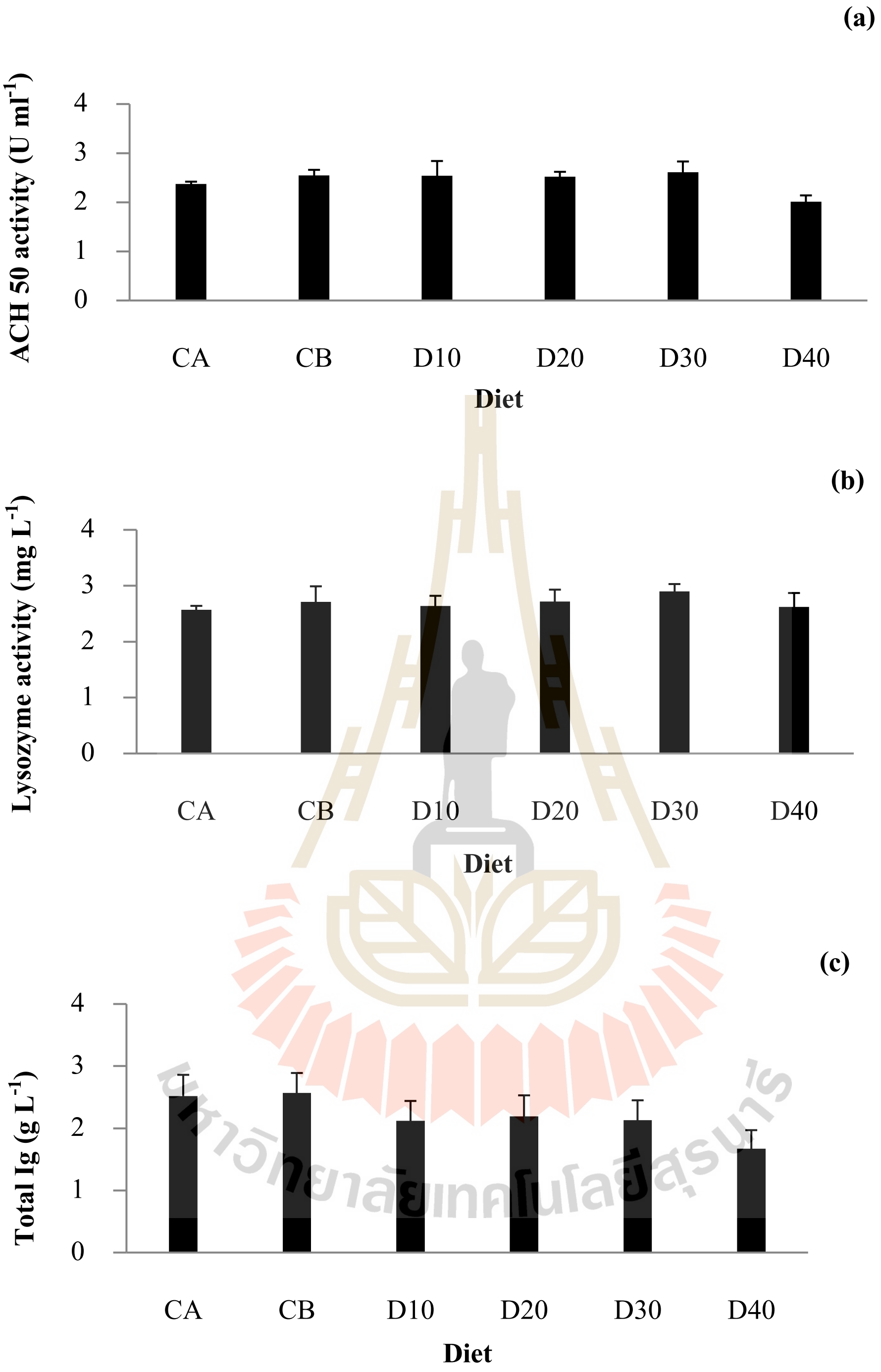
ระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะเป็นกลไกที่สำคัญในการป้องกันเชื้อโรค และมีการตอบสนองอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการบุกรุกของเชื้อโรค (ชนกันต์, 2545) จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงไม่มีผลกระทบต่อการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน อันได้แก่ alternative complement activity (ACH50) lysozyme activity และ total immunoglobulin (Total Ig) ($P>0.05$; ดังภาพที่ 4.2) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในช่วงเริ่มแรกของการเลี้ยงปลาสวายโมงด้วยกากสาโททดแทนปลาป่นในอาหาร มีการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันในระยะเวลาสั้น ๆ แต่เมื่อมีการเลี้ยงปลาสวายโมงเป็นระยะเวลานานขึ้นจึงทำให้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Vechklang *et al.* (2011) ที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลานิล พบว่า ไม่มีผลกระทบต่อกิจกรรมการทำงานของ lysozyme นอกจากนี้การศึกษาที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่า การเลี้ยงปลาด้วยอาหารที่มียีสต์ในระดับที่เหมาะสมในระยะเวลาอันสั้น สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันและความต้านทานโรคได้ (Chen and Ainsworth, 1992; Welker *et al.*, 2007) อย่างไรก็ตามการศึกษาของ Pongpet *et al.* (2015) รายงานว่า การใช้ brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลา สามารถช่วยเพิ่มการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากผลการศึกษานี้สอดคล้องกับค่าโลหิตวิทยา ค่าชีวเคมีในโลหิต และจำนวน goblet cells ในลำไส้ ที่บ่งบอกว่าการทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทไม่ส่งผลทางลบต่อสุขภาพปลา

ตารางที่ 4.3 ค่าโลหิตวิทยาและค่าชีวเคมีของโลหิตของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่มีการใช้กากสาโทแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 10 เดือน

Parameter	**อาหารทดลอง**					
	CA	**CB**	**D10**	**D20**	**D30**	**D40**
WBC (10^{9}/L)	9.87±0.09	10.40±0.40	10.57±0.32	11.35±0.46	11.15±0.48	11.50±0.50
RBC (10^{12}/L)	1.19±0.01	1.18±0.01	1.19±0.00	1.19±0.00	1.19±0.01	1.18±0.01
MCV (fL)	342.29±1.75	345.24±1.15	342.61±3.69	337.75±0.31	340.59±1.43	343.03±0.56
MCH (pg/cell)	157.47±0.47	157.39±0.81	155.06±1.14	158.32±0.67	155.31±1.39	155.63±0.72
MCHC (g/L)	460.07±3.53	455.91±3.66	452.61±2.30	468.75±2.19	456.04±5.59	453.67±1.74
Haemoglobin (g/L)	186.91±0.56	185.56±0.96	184.83±1.36	188.87±0.80	185.44±1.66	183.48±0.86
Haematocrit (%)	40.63±0.20	40.70±0.14	40.84±0.44	40.29±0.04	40.67±0.17	40.44±0.07
Lymphocyte (%)	66.00±1.73	66.00±1.53	62.33±0.88	61.33±0.88	64.67±0.88	62.00±1.15
Thrombocyte (10^{9}/L)	26.60±0.40	28.00±0.58	28.33±0.67	28.60±0.31	28.63±0.33	28.97±0.55
Glucose (mmol/L)	4.35±0.30	4.46±0.28	4.14±0.30	4.39±0.06	4.61±0.51	4.74±0.05
Cholesterol (mmol/L)	0.41±0.00^{b}	0.49±0.00^{a}	0.39±0.02^{b}	0.34±0.02^{c}	0.32±0.00^{c}	0.31±0.01^{c}
BUN (mmol/L)	0.30±0.00	0.31±0.00	0.30±0.00	0.30±0.00	0.31±0.00	0.31±0.00
Plasma protein (g/L)	17.65±0.48	18.67±0.79	17.35±0.44	17.46±0.27	17.67±0.35	17.58±0.16

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถว หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 4.2 ผลของการใช้กากสาโท ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกัน อันได้แก่ alternative complement activity (a) lysozyme activity (b) และ total immunoglobulin (c) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนแท่งกราฟ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.3 ผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา เนื้อปลา และคุณภาพเนื้อของปลา

องค์ประกอบทางเคมีเกี่ยวข้องกับการประเมินความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และแร่ธาตุ ซึ่งมีในปริมาณน้อยแต่มีความสำคัญต่อกลิ่น รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการ (Huss, 1988; สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2548) จากการศึกษานี้ พบว่า การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาและเนื้อปลา ซึ่งประกอบไปด้วย ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ($P>0.05$; ดังตารางที่ 4.4 และ 4.5) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารไม่มีผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ของอาหารและการเก็บรักษาระดับเสถียรภาพของโปรตีน ไขมัน และเถ้า ในสัดส่วนที่เหมาะสมและเพียงพอกับความต้องการของปลา ซึ่งสอดคล้องกับ Vechklang *et al.* (2011) พบว่า การทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลานิล เช่นเดียวกับ Peterson, Booth and Manning (2012) ที่รายงานว่า การทดแทนปลาป่นด้วยแหล่งโปรตีนที่ได้จากยีสต์ไม่มีผลกระทบต่อโปรตีน และเถ้าของเนื้อปลา นอกจากนี้ Ovie and Eze (2014) รายงานว่า การใช้แหล่งโปรตีนที่ได้จากยีสต์ (*S. cerevisiae*) ทดแทนปลาป่นในอาหารไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาในปลาดุกรัสเซีย (*Clarias gariepinus*) และจากการศึกษาของ Pongpet *et al.* (2015) พบว่า การใช้ brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารไม่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาสวายโมง แต่เมื่อมีการใช้โปรตีนที่ได้จากยีสต์ทดแทนปลาป่นในระดับที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้ไขมันในเนื้อปลากดอเมริกันลดลง

อาหารที่ปลาได้รับถือว่ามีความสำคัญโดยตรงต่อคุณภาพของเนื้อปลา เช่น สี ความสด ลักษณะของเนื้อปลา และคุณค่าทางโภชนาการ (Coppes, Pavlisko and Vecchi, 2002; Lie, 2001) นอกจากนี้ปัจจัยอื่น ๆ ยังมีผลต่อคุณภาพของเนื้อปลา เช่น การให้อาหาร ส่วนประกอบของอาหาร และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น (Johnston, 1999) ดังนั้นในการพัฒนาอาหารเพื่อเพิ่มคุณค่าให้กับเนื้อปลาจะทำให้เพิ่มความต้องการในปลาสวายโมงได้ จากการศึกษาผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อค่าสีเนื้อสดของปลาสวายโมง พบว่า การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารที่ระดับต่าง ๆ (D10-D40) มีผลทำให้เนื้อปลาสวายโมงมีค่าสีเหลือง (Yellow; b*-value) ต่ำกว่าและมีค่าความขาว (Whiteness) สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) ($P<0.05$; ดังตารางที่ 4.6) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ากากสาโทเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง โดยไม่ส่งผลกระทบต่อค่าสีของเนื้อปลาสวายโมง เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญกับเนื้อปลาสีขาว ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) มีผลทำให้เนื้อปลาสวายโมงมีค่าสีเหลือง (Yellow; b*-value) สูงที่สุด และมีค่าความขาว (Whiteness) ต่ำที่สุด ($P<0.05$; ดังตารางที่ 4.6) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในอาหารสูตรทางการค้าที่ใช้ในการศึกษานี้ มีข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารซึ่งมีสารสี เมื่อปลากินเข้าไปจะทำให้เนื้อและไขมันของปลามีสีเหลือง จึงไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการเลี้ยงปลาสวายโมงเพราะอาจมีผลทำให้เนื้อปลามีมูลค่าลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ De Francesco, Parisi, Médale, Lupi, Kaushik

and Poli (2004) ที่กล่าวว่า การใช้โปรตีนจากพืชมาทำอาหารให้ปลามีผลทำให้ค่าสีเหลืองของเนื้อปลาเพิ่มสูงขึ้น (Yellowness; b*-value) และทำให้ค่าความสว่าง (Lightness; L*-value) ลดลง เช่นเดียวกับ Brinker and Reiter (2011) ได้รายงานว่า การใช้โปรตีนจากพืชมีความเสี่ยงต่อการได้มาของสารสี เช่น lutein, zeaxanthin, carotenoid และ hydroxycarotenoid เป็นต้น ซึ่งสารดังกล่าวจะทำให้เนื้อปลามีสีเหลืองได้ และจากการรายงานของ Li, Robinson, Oberle and Lucas (2011) พบว่า การใช้วัตถุดิบอาหารที่มีส่วนผสมของสารสีในข้าวโพดนั้นมีข้อจำกัด ซึ่งมีผลต่อการสะสมของเม็ดสีในเนื้อปลากลุ่ม catfish ได้ ส่งผลทำให้ลดความน่าสนใจในการบริโภคเนื้อปลาได้ทำให้มูลค่าของเนื้อปลาลดลง

การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง ไม่มีผลกระทบเชิงลบต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษา (Drip loss) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหลังการทำให้สุก (Cook loss) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเนื้อปลา ($P>0.05$; ดังตารางที่ 4.7) โดยค่า pH ของเนื้อปลาสวายโมงที่ใช้ในการศึกษานี้อยู่ในช่วง 6.69-6.73 ซึ่งมีค่า pH ใกล้เคียงกับการรายงานของ Pongpet *et al.* (2015) คือ 6.70-6.82 ซึ่งถือว่าค่า pH ของเนื้อปลาสวายโมงอยู่ในช่วงปกติ โดยค่า pH ของเนื้อปลาที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.00-7.40 (El-Rammouz, Abboud, Abboud, El-Mur, Yammine and Jammal, 2013)

นอกจากนี้ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความแน่น หรือ ความยืดหยุ่น) ของเนื้อปลาสดถือเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญในการประเมินคุณภาพของเนื้อปลา หรือการยอมรับของผู้บริโภคสำหรับใช้ในการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ (Botta, 1991; Coppes, 2010) จากการศึกษาการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารต่อลักษณะเนื้อสัมผัส (breaking force) พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับ 10-30 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ค่า breaking force สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) ($P<0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่ผลิตขึ้นเองที่ไม่ใช้กากสาโท (CB) ($P>0.05$; ดังตารางที่ 4.7) โดยค่า breaking force ที่มีค่าแรงสูงที่ใช้ในการกดเนื้อปลาสามารถบ่งบอกได้ว่าเนื้อปลาที่ได้รับอาหารดังกล่าวมีความเหนียวนุ่ม (Toughness) และไม่แตกยุ่ยง่ายเหมาะสำหรับในการบริโภค Morkore and Einen (2003) รายงานว่า ความแน่นของเนื้อปลาเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค แต่ถ้าหากเนื้อปลามีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มเละจะส่งผลต่อคุณภาพของเนื้อปลาและการยอมรับของผู้บริโภคลดลง และจากการศึกษาของ Pongpet *et al.* (2015) ที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง พบว่า เนื้อของปลาที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นที่ระดับ 45 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เนื้อปลามีความเหนียวนุ่ม และไม่แตกยุ่ยง่าย

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัวที่ได้รับอาหารที่มีการใช้กากสาโทฑดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) หลังจากการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 เดือน

Diet	**ความชื้น (g/kg)**	**โปรตีน (g/kg)**	**ไขมัน (g/kg)**	**เถ้า (g/kg)**
CA	646.25±2.02	368.44±14.54	212.35±2.52	59.60±0.16
CB	648.22±5.53	365.66±7.89	216.30±0.84	58.75±0.62
D10	644.91±6.51	362.81±14.12	215.39±0.62	58.78±0.26
D20	645.93±1.50	370.89±11.06	216.53±0.70	60.01±0.63
D30	644.18±1.60	367.45±1.35	214.97±0.65	59.48±0.55
D40	649.08±1.34	367.48±3.74	217.42±1.27	59.36±0.35

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาที่ได้รับอาหารที่มีการใช้กากสาโทฑดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) หลังจากการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 เดือน

Diet	**ความชื้น (g/kg)**	**โปรตีน (g/kg)**	**ไขมัน (g/kg)**	**เถ้า (g/kg)**
CA	723.30±1.56	122.23±0.17	80.76±0.99	12.61±0.35
CB	722.84±5.55	122.92±1.53	83.56±5.73	12.27±0.13
D10	720.48±3.61	123.28±0.98	88.58±4.37	12.14±0.49
D20	718.89±4.55	124.31±1.00	85.41±1.47	12.98±0.65
D30	722.62±2.83	122.93±1.59	89.91±2.08	12.80±0.18
D40	724.97±7.17	121.19±1.30	85.07±1.55	12.68±0.21

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.6 ผลการใช้กากสาโทหดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ40เปอร์เซ็นต์) ต่อค่าสี และความขาวของเนื้อปลาสวายโมงสด (Fillet color and Whiteness)

Diet	Lightness (L*-value)	Redness (a*-value)	Yellowness (b*-value)	Whiteness
CA	51.03±1.27	-1.29±0.38	7.19±1.04[a]	45.02±2.73[b]
CB	53.43±0.57	-2.25±0.09	2.67±0.21[b]	53.00±0.54[a]
D10	53.56±0.52	-2.10±0.09	2.54±0.15[b]	53.13±0.53[a]
D20	53.68±0.34	-2.35±0.11	2.23±0.24[b]	53.80±0.48[a]
D30	54.10±0.75	-2.30±0.10	2.15±0.24[b]	54.24±0.98[a]
D40	54.21±0.43	-2.17±0.08	2.10±0.29[b]	54.28±0.64[a]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาและการทำให้สุก ลักษณะเนื้อสัมผัสและความเป็นกรด-ด่าง ของเนื้อปลาสวายโมงที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีการใช้กากสาโทหดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์)

Diet	**Drip loss (%)**	**Cook loss (%)**	**Breaking force (g)**	**pH**
CA	3.40±0.06	4.39±0.86	446.23±8.17[c]	6.70±0.03
CB	3.91±0.50	3.85±0.17	529.78±16.33[a]	6.73±0.03
D10	3.45±0.43	3.80±0.56	504.42±4.78[ab]	6.71±0.05
D20	3.72±0.20	5.34±0.27	521.63±11.46[ab]	6.71±0.02
D30	3.89±0.33	4.65±0.53	525.97±7.54[ab]	6.73±0.03
D40	4.56±0.63	5.24±0.38	485.10±19.68[b]	6.69±0.02

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลของการใช้กากสาโท (rice wine residual) เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ ค่าโลหิตวิทยาและชีวเคมีของโลหิต ระบบภูมิคุ้มกัน และคุณภาพของเนื้อปลา พบว่า สามารถนำกากสาโทมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนทางเลือก เพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงได้ถึงระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลา เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ผลิตอาหารขึ้นเองที่ไม่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่น อีกทั้งยังไม่ส่งผลต่อค่าโลหิตวิทยาและชีวเคมีในโลหิต ระบบภูมิคุ้มกัน ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ และคุณภาพของเนื้อปลา อีกทั้งสามารถลดต้นทุนค่าอาหารปลาได้ เมื่อมีการทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทในระดับที่เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนค่าอาหารต่ออัตราการแลกเนื้อ พบว่าการใช้กากสาโทที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนทางด้านค่าอาหารต่ำที่สุด มีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการประกอบสูตรอาหารของปลาสวายโมง

อย่างไรก็ตามการใช้กากสาโทในการประกอบสูตรอาหารนั้น นอกจากจะพิจารณาถึงระดับโปรตีน และพลังงานแล้ว ควรคำนึงถึงความสมดุลของกรดอะมิโน เช่น เมทไธโอนีน ซึ่งระดับความต้องการในอาหาร คือ 0.5 เปอร์เซ็นต์ และ fiber ในสูตรอาหารควรมีไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะทำให้สูตรอาหารมีความเหมาะสมทั้งทางด้านโภชนาการและลดต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงปลาสวายโมง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

กิจการ ศุภมาตย์ สาวิตรี ศิลาเกษ วุฒิพร พรหมขุนทอง และ สิทธิ บุณยรัตผลิน. (2539). **โรคและพยาธิปลา. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**.

ขวัญตา พูลสำราญ ทิพสุคนธ์ พิมพ์พิมล เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน และ ชนกันต์ จิตมนัส. (2551). ค่าโลหิตวิทยาของลูกปลาบึก. **วารสารเชียงใหม่สัตวแพทยสาร**. 6(2): 153-163.

จริยา เดชกุญชร และ ดวงฤทัย ธำรงโชติ. (2546). **สาโท**. กรุงเทพมหานคร: ศรีสยามการพิมพ์.

จุไลวรรณ รุ่งกำเนิดวงศ์ จำเริญศรี พวงแก้ว และ กิจการ ศุภมาตย์. (2550). ผลของเบต้ากลูแคนต่อองค์ประกอบเลือด ระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะและความต้านทานโรคในปลากะรังดอกแดง. **วารสารการประมง**. 60 (2):152-160.

จูอะดี พงศ์มณีรัตน์ ทวี จินดามัยกุล และ ชูศักดิ์ บริสุทธิ. (2545). ระดับโปรตีนที่เหมาะสมในอาหารสำหรับปลากะพงแดง. **วารสารการประมง**. 55(5) 413-421.

ชนกันต์ จิตมนัส. (2545). สารกระตุ้นภูมิคุ้มกันปลา. **วารสารสงขลานครินทร์**. 24: 739-744.

ดวงรัตน์ มุกค์มณี. (2540). **การเจริญเติบโตและจำนวนรอดของปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมกากตะกอนจากโรงงานผลิตเบียร์ในอัตราที่แตกต่างกัน.** วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เดชา รอดระรัง และ ศิริภรณ์ โคตรมี. (2550). **การอนุบาลปลาสวายโมงในบ่อซีเมนต์.** [ออนไลน์].ได้จาก http://www.fisheries.go.th/if-udonthani/data/Hybrid_nurse.pdf

นงค์เยาว์ มณี และ ทิพย์สุดา ต่างประโคน (2551). การอนุบาลลูกปลาสวายโมงในกระชังด้วยความหนาแน่นต่างกัน. **เอกสารวิชาการฉบับที่ 39/2551 สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด** (หน้า 27). ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดอุดรธานี: กรมประมง.

นิรุทธิ์ สุขเกษม จรีพร เรืองศรี และ กิจการ ศุภมาตย์. (2548). การศึกษาองค์ประกอบเลือดของปลาหมอไทย. **วารสารสงขลานครินทร์**. 27 (ฉบับพิเศษ 1): 419-424.

นำชัย เจริญเทศประสิทธิ์ (2544). **หลักโภชนาศาสตร์สัตว์น้ำ.** ภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปิยะมาศ คำทิพย์ กิจจา สืบหงส์ สนธยา ห้องพ่วง และ สุรศักดิ์ คงประจักษ์ (2551). **การศึกษาการใช้หัวเชื้อยีสต์บริสุทธิ์ในกระบวนการหมักสาโท.** ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์.

วิทยา ตินนังวัฒนะ (2539). **การเลี้ยงปลานิลด้วยกากตะกอนจากโรงงานผลิตเบียร์ที่ผ่านการฉายรังสี.** กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยา ตินนังวัฒนะ และ ทวี วิพุทธานุมาศ (2545). การเลี้ยงปลาตะเพียนขาวด้วยอาหารผสมกากตะกอนจากโรงงานผลิตเบียร์. **รายงานการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 40** (หน้า 605-614). กรุงเทพมหานคร: สาขาประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. (2536). **อาหารปลา**. กรุงเทพมหานคร. โอเดียนสโตร์.

เวียง เชื้อโพธิ์หัก. (2542). โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์น้ำ. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุภรัตน์ ฉัตรจริยเวศน์ และ สมเกียรติ พงษ์ศิริจันทร์. (2544). ความต้องการโปรตีนของปลาเทโพขนาดเล็ก. **เอกสารวิชาการฉบับที่ 7/2544** (หน้า 19). ศูนย์พัฒนาประมงน้ำจืดอุบลราชธานี: กรมประมง.

ศุภรัตน์ ฉัตรจริยเวศน์ สมเกียรติ พงษ์ศิริจันทร์ และ สมศักดิ์ เจนศิริศักดิ์. (2541b). ความต้องการโปรตีนของปลาเทโพวัยรุ่น. **เอกสารฉบับวิชาการฉบับที่ 1/2541** (หน้า 26). ศูนย์พัฒนาประมงน้ำจืดอุบลราชธานี: กรมประมง.

สมร พรชื่นชูวงศ์ อรรณพ อิ่มศิลป์ และ สมบัติ สิงห์สี. (2553). การเก็บรักษาน้ำเชื้อปลาเผาะ (*Pangasius bocourti*) โดยวิธีการแช่แข็ง. **รายงานการวิจัยสาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

สมร พรชื่นชูวงศ์ สุพรรณ ขันน้ำเที่ยง สุรชัย ภาสดา สุคนธา เลขะพันธ์รัตน์ นิศารัตน์ ปุณณารักษ์ และ นฤพล สุขุมาสวิน. (2550). ผลของสาร Extenders และสาร Cryoprotectants ที่มีผลต่ออัตราการปฏิสนธิของน้ำเชื้อปลาสวายโดยวิธีการแช่แข็ง. **วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง.** 1: 11-22.

สมศรี งามวงศ์ชน วรพงษ์ นลินานนท์ สมบัติ สิงห์สี และ ศุภรัตน์ ฉัตรจริยเวศน์. (2551). ระดับโปรตีนในอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาโมง (*Pangasius bocouti* Sauvage, 1880) **วารสารการประมง** 61(6): 532-539.

สัญชัย จตุรสิทธา. (2543). **เทคโนโลยีเนื้อสัตว์.**พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: ธนบรรณการพิมพ์.

สุญาณีพร ตุลยพงศ์รักษ์ ปัทมา ระตะนะอาพร และ จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร. (2551). การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของปลาสวายโมงที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง. **รายงานการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 46** (หน้า 228-235). กรุงเทพมหานคร: สาขาประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุทธวัฒน์ เบญจกุล. (2548). **เคมีและคุณภาพเนื้อสัตว์.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตว์.

สุภาพ แก้วละเอียด อุดมชัย อาภากุลอนุ บรรจง จานงศิตธรรม และ อายุวัฒน์ นิลศรี. (2554). การผลิตปลาสวายโมงขนาด 1 นิ้วด้วยอัตราความหนาแน่นต่างกันในรางระบบน้ำหมุนเวียน. **เอกสารวิชาการฉบับที่ 4/2554** (หน้า 31). สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดเชียงราย สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด: กรมประมง.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สุภาพร มหันต์กิจ และ นุชนรี ทองศรี. (2555). ระดับโปรตีนและพลังงานที่เหมาะสมในอาหารสำหรับปลาเทพาขนาดเล็ก. **เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2555** (หน้า 31). สถานีประมงน้ำจืดเพชรบุรี สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด: กรมประมง.

สุวิภา จรจันทึก. (2553). **การศึกษาความเป็นไปได้ในการเลี้ยงปลาสวายโมงในกระชังเชิงพาณิชย์จังหวัดนครพนม.** วิทยานิพนธ์เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

อรรณพ อิ่มศิลป์ และ ณรงค์ศักดิ์ ศิริชัยพันธุ์. (2550). การเลี้ยงปลาโมงในกระชังที่ความหนาแน่นต่างกัน 4 ระดับ. **เอกสารวิชาการฉบับที่ 16/2550** (หน้า 21). สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดนครพนม: กรมประมง.

Abdel-Tawwab, M., Abdel-Rahman, A. M., and Ismael, N. E. M. (2008). Evaluation of commercial live baker's yeast, *Saccharomyces cerevisiae* as a growth and immunity promoter for fry Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) challenged in situ with *Aeromonas hydrophila*. **Aquaculture.** 280: 185-189.

Ahmed, I. (2014). Dietary amino acid L-methionine requirement of fingerling Indian catfish, *Heteropneustes fossilis* (Bloch-1974) estimated by growth and haemato-biochemical parameters. **Aquaculture Research.** 45: 243-258.

Ai, Q., Mai, K., Zhang, L., Tan, B., Zhang, W., Xu, W., and Li, H. (2007). Effect of dietary β-1, 3 glucan on innate immune response of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea*. **Fish and Shellfish Immunology.** 22: 394-402.

Ajeniyi, S. A., and Solomon, R. J. (2014). Urea and creatinine of *Clarias Gariepinus* In three different commercial ponds. **Nature and Science.** 12: 126-138.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2000). **Official Methods of Analysis.** 17th edn. AOAC, Washington, DC., USA.

Benjakul, S., and Bauer, F. (2001). Biochemical and physicochemical change in catfish (*Silurus glanis* Linne) muscle as influenced by difference freeze-thaw cycles. **Food chemistry**. 72: 207-217.

Blaxhall, P. C., and Daisley, K. W. (1973). Routine hematological methods for use with fish blood. **J Fish Biol.** 5: 771-781.

Bob-Manuel, F. G. (2014). A comparative study of the effect of yeast single cell protein on growth, feed utilization and condition factor of the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell) and tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) fingerlings. **African Journal of Agricultural research.** 9: 2005-2011.

Bob-Manuel, F. G., and Alfred-Ockiya, J. F. (2011). Evaluation of yeast single cell protein (SCP) diets on growth performance, feed conversion and carcass composition of Tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings. **Afr. J. Biotechnol.** 10: 9473-9478.

Bone, Q., and Moore, R. H. (2008). **Biology of fishes.** 3rd edn. New York, Taylor & Francis group publishers, 478 pp.

Botta, J. (1991). Instrument for nondestructive texture measurement of raw Atlantic cod (*Gadus morhua*) fillets. **Journal of food science**. 56(4): 962-964.

Brinker, A., and Reiter, R. (2011). Fish meal replacement by plant protein substitution and guar gum addition in trout feed, Part I: Effects on feed utilization and fish quality. **Aquaculture.** 310(3): 350-360.

Caballero, M. J., Izquierdo, M. S., Kjørsvik, E., Montero, D., Socorro, J., Fernández, A. J., and Rosenlund, G. (2003). Morphological aspects of intestinal cells from gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed diets containing different lipid sources. **Aquaculture.** 225: 325-340.

Caspary, W. F. (1992). Physiology and pathophysiology of intestinal absorption. **Am. J. Clin. Nutr.** 55: 299-308.

Chen, D., and Ainsworth, A. J. (1992). Glucan administration potentiates immune defense mechanisms of channel catfish, *Ictalurus punctatus* Rafinesque. **Journal of Fish Diseases.** 15: 295-304.

Chuapoehuk, W. (1994). Development of a low protein high energy practical diet for Sutchi's catfish, *Pangasius sutchi* Fowler. **Thai journal of agricultural Science**. 27: 19-25.

Chuenchomrat, P., Assavanig, A., and Lertsiri, S. (2008). Volatile flavour compounds analysis of solid state fermented Thai rice wine (Ou). **Science Asia.** 34: 199-206.

Chutjareyaves, S., Pongsirijun, S., and Janesirisak, S. (1998). **Protein Requirement of juvenile Black Ear Catfish (*Pangasius larnaudii*).** National Inland Fisheries Institute annual Report, Bangkok, Thailand, 26.

Cnaani, A., Tinman, S., Avidar, Y., Ron, M., and Hulata, G. (2004). Comparative study of biochemical parameters in response to stress in *Oreochomis aureus*, *O. mossambicus* and two strains of *O. niloticus*. **Aquacult. Res.** 35: 1434-1440.

Coppes-petricorena, Z. (2010). **Texture measurements in fish and fish products.** In Alasalvar, C., Miyashita, K., Shahidi, F. and Wanasundara, U. (eds) Handbook of seafood quality, safety and health applications, Wiley-Blackwell, UK, 576 pp.

Coppes, Z., Pavlisko, A., and Vecchi, S. D. (2002). Texture measurements in fish and fish products. **J. Aquat. Food Prod. Tech.** 11: 89-105.

De Francesco, M., Parisi, G., Médale, F., Lupi, P., Kaushik, S. J., and Poli, B. M. (2004). Effect of long-term feeding with a plant protein mixture based diet on growth and body/fillet quality traits of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture.** 236(1): 413-429.

De Graaf, G. J., and Janssen, H. (1996). **Artificial reproduction and pond rearing of the African catfish *Clarias gariepinus* in Sub-Saharan Africa - a handbook.** FAO Fisheries Technical Paper, Rome, Italy, 73 pp.

Delashoub, M., Pousty, I., and Khojasteh, S. M. B. (2010). Histology of Bighead Carp *(Hypophthalmichthys nobilis)* intestines. **Global Veterinaria.** 5: 302-306.

Demers, N. E., and Bayne, C. J. (1997). The immediate effects of stress on hormones and plasma lysozyme in rainbow trout. **Developmental & Comparative Immunology.** 21: 363-373.

Dimitroglou, A., Merrifield, D. L., Spring, P., Sweetman, J., Moate, R., and Davies, S. J. (2010). Effects of mannan oligosaccharide (MOS) supplementation on growth performance, feed utilization, intestinal histology and gut microbiota of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). **Aquaculture.** 300: 182-188.

Ebihara, K., and Schneeman, B. O. (1989). Interaction of bile acids, phospholipids, cholesterol and triglyceride with dietary fibers in the small intestine of rats. **The Journal of nutrition.** 119(8): 1100-1106.

Egware, R. A., and Orewa, S. I. (2014). A comparative profit analysis of catfish, *Clarias gariepinus* production in Ughelli, Delta State, Nigeria. **International Journal of African and Asian Studies.** 1: 1-3.

Elmada, C. Z., Huang, W., Jin, M., Liang, X., Mai, K., and Zhou, Q. (2016). The effect of dietary methionine on growth, antioxidant capacity, innate immune response and disease resistance of juvenile yellow catfish *(Pelteobagrus fulvidraco)*. **Aquaculture Nutrition.** 1-12.

El-Rammouz, R., Abboud, J., Abboud, M., El Mur, A., Yammine, S., and Jammal, B. (2013). pH, *Rigor Mortis* and physical properties of fillet in fresh water fish: The case of rainbow trout *(Oncorynchus mykiss)*. **Journal of Applied Sciences Research.** 11: 5746-5755.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Fagbenro, O. A., and Davies, S. J. (2001). Use of soybean flour (dehulled, solvent-extracted soybean) as a fish meal substitute in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822): growth, feed utilization and digestibility. **J. Appl. Ichtyol.** 17: 64-69.

FAO (2004). **State of World Fisheries and Aquaculture.** FAO, Rome, Italy.

Farhangi, M., and Carter, C. G. (2001). Growth, physiological and immunological responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to different dietary inclusion levels of dehulled lupin (*Lupinus angustifolius*). **Aquaculture Research.** 32(s1), 329-340.

Finger, T. E., Drake, S. K., Kotrschal, K., Womble, M., and Dockstader, K. C. (1991). Postlarval growth of the peripheral gustatory system in the channel catfish, *Ictalurus punctatus*. **J. Comparative Neurology.** 314: 55-66.

Garcia-Rodriguez, T., Ferrer, M., Carrillo, J. C., and Castroviejo, J. (1987). Metabolic responses of *Buteo buteo* to long fasting and refeeding. **Comp Biochem Physiol.** 87: 381-386.

Garling, D. L., and Wilson, R. P. (1977). Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth and body composition of fingerling channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Prog. Fish Cult.** 39: 43-47.

Gjedrem, T. (1997). Flesh quality improvement in fish through breeding. **Aquaculture International.** 197-206.

Grannam, A. L., and Schrock, R. M. (2001). **Immunostimulants in fish diets.** In Lim, C., & Webster, C.D. (Eds.), Nutrition and Fish health. United States of America: The Haworth Press. 235-260.

Green, B. S., and McCornick, M. I. (1999). Influence of larval feeding history on the body condition of *Amphiprion melanopus*. **Journal of Fish Biology.** 55: 1273-1289.

Hardy, R. W. (1996). Alternate protein sources for salmon and trout diets. **Anim. Feed Sci. Technol.** 59: 71-80.

He, S., Zhou, Z., Liu, Y., Shi, P., Yao, B., Ringo, E., and Yoon, L. (2009). Effects of dietary *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product (DVAQUA) on growth performance, intestinal autochthonous bacterial community and non-specific immunity of hybrid tilapia *(Oreochromis niloticus×O. aureus)* cultured in cages. **Aquaculture.** 294: 99-107.

Hoseinifar, S., Mirvaghefi, A., Merrifield, D., Amiri, B., Yelghi, S., and Bastami, K. (2011). The study of some haematological and serum biochemical parameters of juvenile Beluga *(Huso huso)* fed oligofructose. **Fish Physiol. Biochem.** 37: 91–96.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Hrubec, T. C., Cardinale, J. L., and Smith, S. A. (2000). Hematology and plasma chemistry reference intervals for cultured Tilapia (*Oreochromis* hybrid). **Vet Clin Pathol.** 29: 7-12.

Hunter, R. S. (1987). The Measurement of Appearance, 2nd edn. Wiley Interscience, New York.

Huss, H. H. (1988). **Fresh fish quality and quality changes.** A training manual prepared for FAO/DANIDA Training Program on Fish Technology and Quality Control. FAO, Rome.

Iijima, H., Takahashi, I., and Kiyono, H., (2001). Mucosal immune network in the gut for the control of infectious diseases. **Rev. Med. Virol.** 11: 117-133.

Islam, A. (2005). Embryonic and larval development of Thai Pangas *(Pangasius sutchi* Fowler, 1937). **Develop. Growth Differ.** 47: 1-6.

Izu, H., Shobayashi, M., Manabe, Y., Goto, K., and Iefuji, H., (2006). Sake yeast suppresses acute alcohol-induced liver injury in mice. **Biosci. Biotechnol. Biochem.** 70: 2488-2493.

Jantrarotai, W., Sitasit, P., Chumsumgnern, S., and Chinmoog, S. (1992). **Effect of various protein levels in isocaloric diets on growth and fat deposit of Striped Catfish (*Pangasius sutchi*).** National Inland Fisheries Institute Annual Report, Bangkok, Thailand, 13 pp.

Jarmolowicz, S., Zakes, Z., Siwicki, A., Kowalska, A., Hopko, M., Glabski, E., Demska-zakes, K., and Partyka, K. (2012). Effects of brewer's yeast extract on growth performance and health of juvenile pikeperch *Sander lucioperca* (L.). **Aquaculture Nutrition.** 18(4): 457-464.

Jeyaram, K., Singh, W. M., Capece, A., and Romano, P. (2008). Molecular identification of yeast species associated with 'Hamei'- A traditional starter used for rice wine production in Manipur, India. **International Journal of food Microbiology.** 124: 115-125.

Johnston, I. A. (1999). Muscle development and growth: potential implications for flesh quality in fish. **Aquaculture.** 177: 99-115.

Kader, M. A., and Koshio, S. (2012). Effect of composite mixture of seafood by-products and soybean proteins in replacement of fishmeal on the performance of red sea bream, *Pagrus major*. **Aquaculture.** 368: 95-102.

Korkmaz, A. S., and Cakirogullari, G. C. (2011). Effect of partial replacement of fish meal by dried baker's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on growth performance, feed utilization and digestibility in Koi Carp (*Cyprinus Carpio* L., 1758) fingerlings. **Journal Animal and Veterinary advances.** 10: 346-351.

Kowalska, A., Zake's, Z., Jankowska, B., and Siwicki, A. (2010). Impact of diets with vegetable oils on the growth, histological structure of internal organs, biochemical blood parameters, and proximate composition of pikeperch *Sander lucioperca* (L.). **Aquaculture.** 301: 69-77.

Kraugerud, O. F., Penn, M., Storebakken, T., Refstie, S., Krogdahl, A., and Svihus, B. (2007). Nutrient digestibilities and gut function in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with cellulose or non-starch polysaccharides from soy. **Aquaculture.** 273(1): 96-107.

Kumari, J., and Sahoo, P. K. (2006). Dietary β-1,3 glucan potentiates innate immunity and disease resistance of Asian catfish, *Clarias batrachus* (L.). **Journal of Fish Diseases.** 29: 95-101.

Leenhouwers, J. I., Adjei, B. D., Verreth, J. A. J., and Schrama, J. W. (2006). Digesta viscosity, nutrient digestibility and organ weights in African catfish *(Clarias gariepinus)* fed diets supplemented with different levels of a soluble non-starch polysaccharide. **Aquaculture Nutrition.** 12: 111-116.

Lertpinyochaithaworn, N. (2007). **Quality development of Thai traditional rice wine**. Master thesis. Suranaree University of Technology. Thailand.

Li, M. H., Oberle, D. F., and Lucas, P. M. (2011). Evaluation of corn distillers dried grains with solubles and brewer's yeast in diets for channel catfish *Ictalurus punctatus* (Rafinesque). **Aquaculture Research.** 42(10): 1424-1430.

Lie, Ø. (2001). Flesh quality–the role of nutrition**. Aquac. Res.** 32: 341-348.

Liu, F., He, Y., Wang, L., and Pan, H. (2007). Feasibility of the use of visible and near infrared spectroscopy to assess soluble solids content and pH of rice wines. **Food Engineering.** 83: 430-435.

Lovell, R. T. (1991). Nutrition and feeding of fish. **Animal Science. 69:** 4193-4200.

Luangkhlayphoa, A., Pattaragulwanita, K., Leepipatpiboonb, N., and Yompakdeea, C. (2014). Development of a defined starter culture mixture for the fermentation of sato, a Thai rice-based alcoholic beverage. **SCIENCEASIA.** 40(2): 125-134.

Lu, Y. M., Lu, X., Chen, X. H., Jiang, M., Li, C., and Dong, M. S. (2007). A survey of biogenic amine in Chinese rice wines. **Food Chemistry.** 100(4): 1424-1428.

Lunger, A. N., Craig, S. R., and McLean, E. (2006). Replacement of fish meal in cobia (*Rachycentron canadum*) diets using an organically certified protein. **Aquaculture.** 257: 393-399.

Magnadottir, B. (2006). Innate immunity of fish (overview). **Fish and Shellfish Immunology.** 20: 137-51.

Mai, K., Wan, J., Ai, Q., Xu, W., Liufu, Z., Zhang, L., Zhang, C., and Li, H. (2006). Dietary methionine requirement of juvenile yellow croaker *Pseudosciaena crocea* R. **Aquaculture.** 251: 564–572.

Manabe, Y., Shobayashi, M., Kurosu, T., Sakata, S., and Fushiki, T. (2004). Increase in spontaneous locomotive activity in rats fed diets containing sake lees or sake yeast. **Food Sci. Technol. Res. 10:** 300-302.

Mørkøre, T., and Einen, O. (2003). Relating sensory and instrumental texture analyses of Atlantic salmon. **Journal of food science.** 68(4), 1492-1497.

Myburgh, J. G., Botha, C. J., Booyse, D. G., and Reyers, F. (2008). Provisional clinical chemistry parameters in the African Sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*). **Journal of the South African Veterinary Association.** 79: 156-160.

Nelson, C. E. (1989). **The importance of chemoattractants in aquaculture.** Kemin Industries, U.S.A., 8 pp.

New, M. B., and Wijkstrom, U. N. (2002). **Use of Fishmeal and Fishoil in Aquafeeds: Further Thoughts on the Fishmeal Trap.** FAO Fish Circ. No. 975. FAO, Rome, Italy.

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

Oliva-Teles, A., and Goncalves, P. (2001). Partial replacement of fishmeal by brewer's yeast (*Saccaromyces cerevisae*) in diets for sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. **Aquaculture.** 202: 269-278.

Ostaszewska, T., Dabrowski, K., Palacios, M. E., Olejniczak, M., and Wieczorek, M. (2005). Growth and morphological changes in the digestive tract of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and pacu (*Piaractus mesopotamicus*) due to casein replacement with soybean proteins. **Aquaculture.** 245(1): 273-286.

Øverland, M., Sørensen, M., Storebakken, T., Penn, M., Krogdahl, A., and Skrede, A. (2009). Pea protein concentrate substituting fish meal or soybean meal in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*)-effect on growth performance, nutrient digestibility, carcass composition, gut health, and physical feed quality. **Aquaculture.** 288(3): 305-311.

Ovie, S. O., and Eze, S. S. (2014). Utilization of *Saccharomyces cerevisiae* in the partial replacement of fish meal in *Clarias gariepinus* diets. **International Journal of advance agricultural research.** 2: 83-88.

Owolabi, O. D. (2011). Haematological and serum biochemical profile of the upside-down catfish, *Synodontis membranacea* Geoffroy Saint Hilaire from Jebba Lake, Nigeria. **Comp Clin Pathol.** 20: 163-172.

Ozorio, R. O. A., Turini, B. G. S., Moro, G. V., Oliveira, L. S. T., Portz, L., and Cyrino, J. E. P. (2010). Growth, nitrogen gain and indispensable amino acid retention of pacu (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg 1887) fed different brewer's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) levels. **Aquaculture nutrition.** 16: 276-283.

Page, J. W., and Andrews J. W. (1973). Interactions of dietary levels of protein and energy on channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **J. Nutr.**103: 1339-1346.

Peterson, B. C., Booth, N. J., and Manning, B. B. (2012). Replacement of fish meal in juvenile channel catfish, *Ictalurus punctatus*, diets using a yeast-derived protein source: the effects on weight gain, food conversion ratio, body composition and survival of catfish challenged with *Edwardsiella ictaluri*. **Aqu culture nitrition.** 18: 132-137.

Pongpet, J., Ponchunchoovong, S., and Payooha, K. (2015). Partial replacement of fishmeal by brewer's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) in the diets of Thai Panga (*Pangasianodon hypophthalmus* × *Pangasius bocourti*). **Aquaculture nutrition.** 22: 575-585.

Prather, E. E., and Lovell, R. T. (1973). Response of intensively fed channel catfish to diets containing various protein-energy ratios. **Proc. S.E. Assoc. Fish Wildl. Agen.** 27: 455-459.

Puangkaew, J., Kiron, V., Somamoto, T., Okamoto, N., Satoh, S., Takeuchi, T., and Watanabe, T. (2004). Nonspecific immune response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) in relation to different status of vitamin E and highly unsaturated fatty acids. **Fish and Shellfish Immunology.** 16: 25-39.

Refstie, S., Svihus, B., Shearer, K. D., and Storebakken, T. (1999). Nutrient digestibility in Atlantic salmon and broiler chickens related to viscosity and non-starch polysaccharide content in different soyabean products. **Animal Feed Science and Technology.** 79(4): 331-345.

Regost, C., Jakobsen, J. V., and Røra, A. M. B. (2004). Flesh quality of raw and smoked fillets of Atlantic salmon as influenced by dietary oil sources and frozen storage. **Food Research International.** 37(3): 259-271.

Rouillé, J., Lebail, A., Ramaswamy, H., and Leclerc, L. (2002). High pressure thawing of fish and shellfish. **Journal of food engineering.** 53(1): 83-88.

Samuel, M., Lam, T. J., and Sin, Y. M. (1996). Effect of Laminaran (β-1,3 glucan) on the protective immunity of Blue gourami, Trichogaster trichoperus against *Aeromonas hydeophila*. **Fish and Shellfish Immunology.** 6: 443-454.

Santarem, M., Novoa, B., and Figueras, A. (1997). Effect of beta 1, 3 glucan on the non-specific immune responses of turbot (*Scophthalmus maximus* L.). **Fish and Shellfish Immunology.** 7: 443-454.

Sirisantimethakom, L., Laopaiboon, L., Danvirutai, P., and Laopaiboon, P. (2008). Volatile compounds of a traditional Thai Rice Wine. **Biotechnology.** 7(3): 505-513.

Siwicki, A. K., and Anderson, D. P. (1993). Non-specific defense mechanisms assay in fish. II. Potential killing activity of neutrophils and macrophages, lysozyme activity in serum and organs and total immunoglobulin level in serum. 105-112.

St-Onge, M. P., Farnworth, E. R., and Jones, P. J. (2000). Consumption of fermented and nonfermented dairy products: effects on cholesterol concentrations and metabolism. **Am. J. Clin. Nutr.** 71: 674-681.

Storebakken, T. (1985). Binders in fish feeds: I. Effect of alginate and guar gum on growth, digestibility, feed intake and passage through the gastrointestinal tract of rainbow trout. **Aquaculture.** 47: 11-26.

Sugiura, K., Yamatani, S., Watahara, M., and Onodera, T. (2009). Ecofeed, animal feed produced from recycled food waste. **Vet. Ital.** 45: 397-404.

Sunyer, J. O., and Tort, L. (1995). Natural hemolytic and bactericidal ativities of sea bream Sparus aurata serum effected by the alternative complement pathway. **Vet. Immunol. Immunopathol.** 45: 333-345.

Tang, L., Wang, G. X., Jiang, J., Feng, L., Yang, L., Li, S. H., Kuang, S. Y., and Zhou, X. Q. (2009). Effect of methionine on intestinal enzymes activities, microflora and humoral immune of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). **Aquaculture nutrition.** 15: 477-483.

Tavares-Dias, M., and Moraes, F. R. (2007). Haematological and biochemical reference intervals for farmed channel catfish. **Journal of Fish Biology.** 71: 383-388.

Techakriengkrai, I., and Surakarnkul, R. (2007). Analysis of benzoic acid and sorbic acid in Thai rice wines and distillates by solid-phase sorbent extraction and high-performance liquid chromatography. **Journal of food composition and analysis.** 20: 220-225.

Thong, N. T, Nielsen, M., Roth, E., Nguyen, G. V., and Solgaard, S. H. (2016). The estimate of world demand for Pangasius catfish (*Pangasiusianodon hypopthalmus*). **Aquaculture Economics & Management.** 1-18.

Tocher, D. R., Bendiksen, E. A., Campbell, P. J., and Bell, J. G. (2008). The role of phospholipids in nutrition and metabolism of teleost fish. **Aquaculture.** 280: 21-34.

Tsutsui, N., Yamamoto, Y., and Iwami, K. (1998). Protein-nutritive assessment of Sake lees obtained by brewing from liguefied rice. L. **Nutr. Sci. Vitaminol.** 44: 177-186.

Vechklang, K., Boonanuntanasarn, S., Ponchunchoovong, S., Pirarat, N., and Wanapu, C. (2011). The potential for rice wine residual as an alternative protein source in a practical diet for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at the juvenile stage. **Aquaculture Nutrition.** 17: 685-694.

Volman, J., Ramakers, J. D., and Plat, J. (2008). Dietary modulation of immune function by β-glucans. **Physiology & Behavior.** 94: 276-284.

Welker, T. L., Lim, C., Yildirim-Aksoy, M., Shelby, R., and Klesius, P. H. (2007). Immune response and resistance to stress and *Edwardsiella ictaluri* challenge in channel catfish, *Ictalurus punctatus*, fed diets containing commercial whole-cell yeast or yeast subcomponents. **J. World Aquacult. Soc.** 38: 24-35.

Wilson, R. P., and Halver, J. E. (1986). Protein and amino acid requirements of fishes. **Annu. Rev. Nutr.** 6: 225-244.

Winfree, R. A., and Stickney, R. R. (1984). Starter diets for channel catfish: effect of dietary protein on growth and carcass composition. **Progressive Fish-Culturist.** 46: 79-86.

Zhu, H., Liu, H., Yan, J., Wang, R., and Liu, L. (2012). Effect of yeast polysaccharide on some hematologic parameter and gut morphology in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Fish Physiol Biochem.** 38: 1441-1447.

https://ak47boyz90.wordpress.com/category/mmmp/page/48/

http://www.seafish.org/industry-support/aquaculture

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

อุปกรณ์ และสารเคมี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1. อุปกรณ์และสารเคมี

1.1 อุปกรณ์สำหรับการเลี้ยงปลา

1) บ่อดินขนาด 10 ไร่

2) โครงกระชังเหล็ก และกระชังขนาด 1×1×1.5 เมตร

3) เครื่องปั๊มลม

4) สวิงขนย้ายปลา

5) ถังน้ำ

1.2 อุปกรณ์สำหรับการทำอาหารปลา

1) เครื่องบดวัตถุดิบอาหารสัตว์

2) เครื่องผสมอาหารสัตว์

3) เครื่องอัดเม็ดอาหารสัตว์แบบลอยน้ำ

4) วัตถุดิบอาหารสัตว์ ได้แก่ กากสาโท ปลาป่น กากถั่วเหลือง รำข้าว ปลายข้าว มันเส้น น้ำมันพืช และพรีมิกซ์

5) เครื่องชั่งขนาด 1 และ 60 กิโลกรัม

6) ตะแกรงสำหรับตากอาหาร

1.3 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในอาหารปลา

1) เครื่องแก้วสำหรับการเตรียมสารเคมี

2) เครื่องชั่ง 2 และ 4 ตำแหน่ง

3) กระดาษชั่งสาร

4) อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า เป็นต้น

1.4 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์หา Calcium และ Phosphorus

1) เครื่อง Microwave 3000

2) เครื่อง ICP-OES optima 8000

1.5 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยาและระบบภูมิคุ้มกัน

1) เข็มฉีดยาเบอร์ G21 ยาว 1 นิ้ว

2) กระบอกฉีดยาขนาด 5 มิลลิลิตร

3) หลอดทดลองขนาด 1.5 มิลลิลิตร

4) หลอดเคลือบ EDTA ขนาด 3 มิลลิลิตร

5) Haemacytometer พร้อมด้วย Cover glass

6) RBC และ WBC diluting pipette

7) Microhaematocrit tube reader

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

8) ตู้ทำความเย็นอุณหภูมิ -80 -20 และ 4 องศาเซลเซียส

9) เครื่องปั่นเหวี่ยงแบบปรับอุณหภูมิ

10) เครื่อง Votex

11) Micro pipettes ขนาด 10 100 200 และ 1000 ไมโครลิตร พร้อมทิป

12) 96 well plate

13) Hot air oven

14) กล้องจุลทรรศน์ (Compound microscope)

15) นาฬิกาจับเวลา

16) อะลูมิเนียมฟอยด์

1.6 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้

1) ชุดเครื่องมือผ่าตัด

2) ขวดเก็บตัวอย่างลำไส้ปลา

1.7 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพเนื้อปลา

1) pH meter

2) เครื่อง Hunter lab color meter

3) เครื่อง Texture Analyzer

4) มีดสำหรับแล่ปลา

5) เขียง

6) ถุงพลาสติกสุญญากาศ

7) หลอดทดลองขนาด 5 มิลลิลิตร

8) Rack

9) กระดาษกรองเบอร์ 1

1.8 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในอาหารปลา

1) สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ไขมัน

- Petroleum ether

2) สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์โปรตีน

- Hydrochloric acid

- Sulfuric acid

- Boric acid

- Mix indicator

3) สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์เยื่อใย

- Sulfuric acid

- Sodium hydroxide

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.9 สารเคมีที่ใช้สำหรับในการวิเคราะห์หา Calcium และ Phosphorus

- Nitric acid
- Hydrochloric acid
- Calcium ($Ca^{2+)}$
- Phosphorus (P^{+})

1.10 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยาและระบบภูมิคุ้มกัน

1) น้ำมันกานพลู

2) Dipotassium ethylenediaminete traacetic acid (K_2EDTA)

3) น้ำยาเจือจางเม็ดเลือดแดง Grower's solution
- Sodium sulfate
- Glacial acetic acid

4) น้ำยานับเม็ดเลือดขาวตามสูตร Natt Herrick's stain
- Sodium chloride (NaCl)
- Sodium sulfate (Na_2SO_4)
- Sodium phosphate (NaH_2PO_4)
- Potassium phosphate (KH_2PO_4)
- Formalin 37 เปอร์เซ็นต์
- Methyl violet

5) Drabkin's solution

6) สารเคมีที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ Lysozyme activity
- *Micrococcus lysodekticus* (Sigma Chemical Co., St. Louis, Missouri, USA)
- 0.1 M phosphate citrate buffer (pH 5.8)
- Chicken egg white lysozyme

7) สารเคมีที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ Alternative complements activity
- Sheep red blood cell
- Phosphate Buffered Saline (Sigma Chemical Co., St. Louis, Missouri, USA)
- Calcium chloride ($CaCl_2$)
- Magnesium chloride ($MgCl_2$)
- Gelatin

8) Total Protein kit (บริษัท แปซิฟิค ไบโอเทค จำกัด)

9) Cholesterol kit (บริษัท แปซิฟิค ไบโอเทค จำกัด)

10) Blood Urea Nitrogen kit (บริษัท แปซิฟิค ไบโอเทค จำกัด)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.11 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้

1) Alcohol 70 เปอร์เซ็นต์

2) Buffer formalin 10 เปอร์เซ็นต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของสมรรถนะการเจริญเติบโต
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ ค่าโลหิตวิทยา
ชีวเคมีในโลหิต ระบบภูมิคุ้มกัน และคุณภาพเนื้อปลา ด้วยโปรแกรม SPSS

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข. 1 แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ผลของการใช้กากสาโทหดแทนปลาป่นในอาหารที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลาสวายโมง

Parameter	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Final weight	Between Groups	309938.073	5	61987.615	34.470	0.000
	Within Groups	21579.811	12	1798.318		
	Total	331517.884	17			
Weight gain	Between Groups	308905.167	5	61781.033	34.001	0.000
	Within Groups	21804.292	12	1817.024		
	Total	330709.460	17			
DGR	Between Groups	2.970	5	0.594	34.546	0.000
	Within Groups	0.206	12	0.017		
	Total	3.176	17			
SGR	Between Groups	0.013	5	0.003	38.283	0.000
	Within Groups	0.001	12	0.000		
	Total	0.014	17			

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข. 2 แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาสวายโมง

Parameter	**Source**	**Sum of Squares**	**df**	**Mean Square**	**F**	**Sig.**
FCR	Between Groups	0.220	5	0.044	3.171	0.047
	Within Groups	0.166	12	0.014		
	Total	0.386	17			
Feed intake	Between Groups	25514.093	5	5102.819	3.908	0.025
	Within Groups	15667.988	12	1305.666		
	Total	41182.081	17			
FE	Between Groups	82.641	5	16.528	3.629	0.031
	Within Groups	54.649	12	4.554		
	Total	137.290	17			
PER	Between Groups	0.084	5	0.017	3.841	0.026
	Within Groups	0.053	12	0.004		
	Total	0.137	17			
HSI	Between Groups	0.077	5	0.015	0.446	0.809
	Within Groups	0.413	12	0.034		
	Total	0.489	17			
Survival rate	Between Groups	165.597	5	33.119	1.287	0.332
	Within Groups	308.898	12	25.742		
	Total	474.496	17			

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข. 3 แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ผลของการใช้กากสาโทททดแทนปลาป่นในอาหารที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ต่อลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ของปลาสวายโมง

Parameter	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Villi height	Between Groups	285270.139	5	57054.028	8.060	0.002
foregut	Within Groups	84939.721	12	7078.310		
	Total	370209.860	17			
Villi height	Between Groups	63041.664	5	12608.333	3.748	0.028
midgut	Within Groups	40364.153	12	3363.679		
	Total	103405.817	17			
Villi height	Between Groups	56899.123	5	11379.825	2.104	0.135
hindgut	Within Groups	64915.265	12	5409.605		
	Total	121814.388	17			
Number of	Between Groups	119.689	5	23.938	7.628	0.002
goblet cell	Within Groups	37.656	12	3.138		
in foregut	Total	157.345	17			
Number of	Between Groups	50.681	5	10.136	3.453	0.036
goblet cell	Within Groups	35.223	12	2.935		
in midgut	Total	85.904	17			
Number of	Between Groups	1.342	5	0.268	0.377	0.855
goblet cell	Within Groups	8.550	12	0.713		
in hindgut	Total	9.892	17			

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข. 4 แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ผลของการใช้กากสาโทหดแทนปลาป่นในอาหารที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ต่อค่าโลหิตวิทยาของปลาสวายโมง

Parameter	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
WBC	Between Groups	6.008	5	1.202	2.476	0.092
	Within Groups	5.824	12	0.485		
	Total	11.832	17			
MCV	Between Groups	96.031	5	19.206	1.878	0.172
	Within Groups	122.740	12	10.228		
	Total	218.771	17			
MCH	Between Groups	27.859	5	5.572	2.182	0.124
	Within Groups	30.638	12	2.553		
	Total	58.497	17			
MCHC	Between Groups	526.807	5	105.361	3.002	0.055
	Within Groups	421.156	12	35.096		
	Total	947.963	17			
Hb	Between Groups	51.557	5	10.311	2.854	0.063
	Within Groups	43.353	12	3.613		
	Total	94.910	17			
Hct	Between Groups	0.576	5	0.115	0.795	0.573
	Within Groups	1.739	12	0.145		
	Total	2.316	17			
Lymphocyte	Between Groups	65.611	5	13.122	2.916	0.060
	Within Groups	54.00	12	4.500		
	Total	119.611	17			

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข. 5 แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ต่อค่าชีวเคมีของโลหิตของปลาสวายโมง

Parameter	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Thrombocyte	Between Groups	10.658	5	2.132	2.960	0.057
	Within Groups	8.640	12	0.720		
	Total	19.298	17			
Glucose	Between Groups	0.644	5	0.129	0.493	0.775
	Within Groups	3.135	12	0.261		
	Total	3.780	17			
Cholesterol	Between Groups	0.065	5	0.013	20.414	0.000
	Within Groups	0.008	12	0.001		
	Total	0.072	17			
Plasma protein	Between Groups	3.389	5	0.678	1.077	0.420
	Within Groups	7.550	12	0.629		
	Total	10.939	17			

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข. 6 แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ผลของการใช้กากสาโทหดแทนปลาป่นในอาหารที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ต่อค่าการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันของปลาสวายโมง

Parameter	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ACH50	Between Groups	0.740	5	0.148	1.607	0.232
	Within Groups	1.104	12	0.092		
	Total	1.844	17			
Lysozyme activity	Between Groups	0.201	5	0.040	0.332	0.884
	Within Groups	1.453	12	0.121		
	Total	1.655	17			
Total Ig	Between Groups	1.582	5	0.316	0.171	0.968
	Within Groups	22.205	12	1.850		
	Total	23.788	17			

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข. 7 แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ผลของการใช้กากสาโทฑดแทนปลาป่นในอาหารที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ต่อค่าองค์ประกอบทาเคมีของตัวปลาสวายโมง

Parameter	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ความชื้น	Between Groups	53.723	5	10.745	0.257	0.928
	Within Groups	502.335	12	41.861		
	Total	556.058	17			
โปรตีน	Between Groups	110.716	5	22.143	0.064	0.997
	Within Groups	4161.913	12	346.826		
	Total	4272.630	17			
ไขมัน	Between Groups	46.899	5	9.380	1.886	0.171
	Within Groups	59.684	12	4.974		
	Total	106.583	17			
เถ้า	Between Groups	3.565	5	0.713	1.105	0.407
	Within Groups	7.745	12	0.645		
	Total	11.310	17			

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข. 8 แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ต่อค่าองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาสวายโมง

Parameter	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ความชื้น	Between Groups	70.212	5	14.042	0.222	0.946
	Within Groups	758.730	12	63.228		
	Total	828.942	17			
โปรตีน	Between Groups	16.351	5	3.270	0.765	0.592
	Within Groups	51.309	12	4.276		
	Total	67.660	17			
ไขมัน	Between Groups	165.937	5	33.187	1.075	0.421
	Within Groups	370.532	12	30.878		
	Total	536.468	17			
เถ้า	Between Groups	1.532	5	0.306	0.702	0.633
	Within Groups	5.240	12	0.437		
	Total	6.773	17			

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข. 9 แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ต่อค่าสีของเนื้อปลาสวายโมง

Parameter	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
L*-value	Between Groups	20.447	5	4.089	2.665	0.076
	Within Groups	18.411	12	1.534		
	Total	38.858	17			
a*-value	Between Groups	2.329	5	0.466	3.018	0.054
	Within Groups	1.852	12	0.154		
	Total	4.180	17			
b*-value	Between Groups	59.509	5	11.902	17.627	0.000
	Within Groups	8.103	12	0.675		
	Total	67.611	17			
Whiteness	Between Groups	192.079	5	38.416	7.942	0.002
	Within Groups	58.045	12	4.837		
	Total	250.125	17			

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข. 10 แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา (drip loss) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหลังการทำให้สุก (cook loss) และลักษณะเนื้อสัมผัสของปลาสวายโมง

Parameter	**Source**	**Sum of Squares**	**df**	**Mean Square**	**F**	**Sig.**
Drip loss	Between Groups	4.614	5	0.923	1.860	0.176
	Within Groups	5.955	12	0.496		
	Total	10.569	17			
Cook loss	Between Groups	6.570	5	1.314	1.672	0.216
	Within Groups	9.430	12	0.786		
	Total	16.000	17			
Breaking force	Between Groups	15398.819	5	3079.764	6.612	0.004
	Within Groups	5589.728	12	465.811		
	Total	20988.548	17			
pH	Between Groups	0.004	5	0.001	0.262	0.925
	Within Groups	0.034	12	0.003		
	Total	0.038	17			

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นางสาวกาญจนา ทวีวรรณบูลย์ เกิดเมื่อวันที่ 22 มีนาคม พ.ศ. 2534 ที่จังหวัดสิงห์บุรี เริ่มศึกษาชั้นประถมศึกษาที่โรงเรียนอนุบาลสิงห์บุรี อำเภอเมือง จังหวัดสิงห์บุรี ได้ศึกษาต่อชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นที่โรงเรียนสิงห์บุรี อำเภอเมือง จังหวัดสิงห์บุรี ศึกษาต่อชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนพิบูลวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์น้ำ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ในปีการศึกษา 2556 และได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโทด้วยทุนศักยภาพ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ในปีการศึกษา 2556

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี