รหัสโครงการ SUT3-303-56-24-23

รายงานการวิจัย

การใช้กากยีสต์แห้ง (dried brewer's yeast) และกากสาโท (rice wine residual) เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง (Thai Panga)

(The replacement of fish meal by dried brewer's yeast and rice wine residual in diets of Thai Panga)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT3-303-56-24-23

รายงานการวิจัย

การใช้กากยีสต์แห้ง (dried brewer's yeast) และกากสาโท (rice wine residual) เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง (Thai Panga)

(The replacement of fish meal by dried brewer's yeast and rice wine residual in diets of Thai Panga)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

อาจารย์ ดร. สมร พรชื่นชูวงศ์

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

1. รศ.ดร. โชคชัย วนภู
2. รศ.ดร. จิรวัฒน์ ยงสวัสดิกุล
3. ผศ.ดร. กาญจนา พยุหะ
4. รศ.ดร. นพดล พิฆารัตน์
5. อ.ดร. กุณฑิกา เวชกลาง

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2557-2558

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

สิงหาคม 2559

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสภาวิจัยแห่งชาติผ่านมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555-2557 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวิจัย ขอขอบพระคุณ คุณสุนัย พลายมี นักวิชาการประมง ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดเตรียมปลาสำหรับใช้ในการทดลอง ตลอดจนคนงาน ฟาร์มประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทุกๆท่าน ที่ได้มีส่วนช่วยให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2559

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้กากยีสต์แห้ง (Brewer's yeast) และกากสาโท (Rice wine residual) เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้ การทดลองที่ 1) ศึกษาการใช้ Brewer's yeast เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นที่ระดับต่างๆ กัน 4 ระดับ (30, 45, 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์) โดยมีอาหารสูตรทางการค้า (CA) และอาหารที่ผลิตขึ้นเองโดยไม่มีการใช้ Brewer's yeast (CB) เป็นกลุ่มควบคุม พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดแทน 45% มีน้ำหนักสุดท้าย (Final weight) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain) ปริมาณการกินได้ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) และอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (DGR) สูงที่สุด ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์อื่นๆ เมื่อใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในระดับที่เพิ่มขึ้น (60 และ 75%) มีผลทำให้ Final weight, Weight gain, SGR และ DGR ลดลง ($P<0.05$) สูตรอาหารทดลองที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ไม่มีผลต่ออัตราการแลกเนื้อ (FCR) ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (FE) และดัชนีตับ (Hepatosomatic index; HSI) ($P>0.05$) และพบว่ามีอัตราการรอดสูงกว่าปลาที่ไม่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่น (CB) ($P<0.05$)

การทดแทนปลาป่นด้วย Brewer's yeast ไม่มีผลต่อค่าโลหิตวิทยา กลูโคสในเลือด และคอเลสเตอรอลในพลาสมา ($P>0.05$) มีผลทำให้โปรตีนในเนื้อ และค่าความขาวของเนื้อปลา (Whiteness) สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า ($P<0.05$) อีกทั้งการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงไม่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหลังการเก็บรักษา (Drip loss) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหลังการทำให้สุก (Cook loss) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเนื้อปลาหลังทำการเก็บรักษา ($P>0.05$)

การทดลองที่ 2) ศึกษาการใช้กากสาโทเพื่อเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงที่ระดับต่างๆ กัน คือ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยมีอาหารสูตรทางการค้า (CA) และอาหารสูตรที่ผลิตขึ้นเองที่ไม่มีการใช้กากสาโท (CB) เป็นกลุ่มควบคุม พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ มีสมรรถนะการเจริญเติบโตสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า ($P<0.05$) ในขณะที่การทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับเพิ่มสูงขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ส่งผลให้มีสมรรถนะการเจริญเติบโตต่ำที่สุด ($P<0.05$) หลังสิ้นสุดการเลี้ยงปลาสวายโมงเป็นระยะเวลา 10 เดือนพบว่า การทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทไม่มีผลต่อค่า HSI, อัตราการรอด ค่าโลหิตวิทยา กลูโคสในเลือด Blood Urea Nitrogen (BUN) และ plasma protein ($P>0.05$) ในปลาสวายโมง นอกจากนี้การทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทพบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อ ACH50, Lysozyme activity และ Total Ig ($P>0.05$)

การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ พบว่า สามารถใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ มีสูงของวิลไลในลำไส้ส่วน

ต่างๆ สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า ($P<0.05$) สูตรอาหารทดลองที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา เนื้อปลา เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษา หลังการทำให้สุก และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของเนื้อปลาสวายโมง ($P>0.05$)

จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าสามารถใช้กากยีสต์แห้ง (Brewer's yeast) ทดแทนปลาป่นในอาหารได้ถึงระดับ 45 เปอร์เซ็นต์ และสามารถใช้กากสาโท (rice wine residual) ทดแทนปลาป่นในอาหารได้ถึงระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร มีต้นทุนค่าอาหารถูกกว่าทรีทเมนต์อื่นๆ ไม่มีผลต่อสุขภาพของปลา และคุณภาพเนื้อปลา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

This study examined the feasibility of the replacement of fishmeal with brewer's yeast and rice wine residual in the diets of Thai Panga (*Pangasianodon hypophthalmus*×*Pangasius bocourti*). Two experiments were carried out: The first experiment was to determine the replacement of fishmeal by increasing brewer's yeast levels to replace 30, 45, 60 or 75% of dietary fishmeal. The control groups' diets were comprised of the commercial diet (CA) and the basal diet without brewer's yeast (CB). The highest final weight, weight gain, feed intake, specific growth rate (SGR), and daily growth rate (DGR) were obtained from the D45 diet ($P<0.05$). Increasing the percentages of fishmeal replacement by 60 and 75% of brewer's yeast were resulted in a significantly decreased in final weight, weight gain, SGR and DGR ($P<0.05$). Experimental diets did not affect on feed conversion ratio (FCR), feed efficiency (FE) and hepatosomatic index (HSI) in Thai Panga ($P>0.05$). The replacement of fishmeal by brewer's yeast was resulted in a significantly higher survival rates than the basal diet without brewer's yeast (CB) ($P<0.05$).

The replacement of fishmeal by brewer's yeast did not affect on blood haematology, blood glucose, and cholesterol ($P>0.05$). The protein content and whiteness in fillets fed with replacement of fishmeal by brewer's yeast diets were significantly higher than the commercial diet ($P<0.05$). In addition, the experimental diets did not affect drip loss, cook loss, and pH in fillets of Thai Panga ($P>0.05$).

The second experiment was to investigate the replacement of fishmeal by increasing rice wine residual (RWR) levels to replace 10, 20, 30 or 40% of dietary fishmeal. The control groups were consisted of the commercial diet (CA) and the basal diet without RWR (CB). Increasing the percentages of fishmeal replacement by 30% of rice wine residual was resulted in a significantly higher on growth performance than a control group (CA) ($P<0.05$), while increasing the replacement by 40% of RWR was resulted in a significantly lowest on growth performance ($P<0.05$). After rearing for 10 months, the replacement of fishmeal by RWR had no negative effects on HSI, survival rate, blood haematology, blood chemistry (BUN, glucose and plasma protein), ACH50, lysozyme activity and total Ig ($P>0.05$).

Villi height in foregut, midgut and hindgut obtained from the D30 diet were higher than the commercial diet ($P<0.05$). The replacement of fishmeal by RWR did not affect the proximate compositions of fish, meat fillet, drip loss, cook loss, and pH in fillets of Thai Panga ($P>0.05$).

Outcome from this study found that brewer's yeast can replace up to 45% of fishmeal and 30% of rice wine residual with improved growth performance and feed efficiency. These were cheapest feed per kilogram of the feed conversion ratio and without any adverse effect on immune response, villi height and meat quality of Thai Panga.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	8
3.1 วัสดุอุปกรณ์	8
3.2 สารเคมี	9
3.3 วิธีการศึกษา	10
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	23
บทที่ 4 ผลการศึกษา	24
4.1 ผลของการใช้กากยีสต์แห้ง (Brewer's yeast) เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง	24
4.2 ผลของการใช้กากสาโท (Rice wine residual) เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง	32
บทที่ 5 วิจารณ์ สรุป และข้อเสนอแนะ	41
5.1 ผลของการใช้กากยีสต์แห้ง (Brewer's yeast) เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง	41
5.2 ผลของการใช้กากสาโท (Rice wine residual) เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง	45
สรุป และข้อเสนอแนะ	50
เอกสารอ้างอิง	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	60
ภาคผนวก ก	60
ภาคผนวก ข	63
ประวัติผู้วิจัย	75

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของวัตถุดิบและองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองที่มีการใช้กากยีสต์ แห้งทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารต่าง ๆ กัน (30 45 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์) 12

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมของวัตถุดิบ และองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในสูตรอาหารต่างกัน 5 ระดับ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) 22

ตารางที่ 4.1 สมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นระดับต่าง ๆ (30 45 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์) ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 9 เดือน 26

ตารางที่ 4.2 ค่าโลหิตวิทยาและค่าชีวเคมีของโลหิตของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ (30 45 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์) ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 9 เดือน 27

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัวที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ (30 45 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์) หลังการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 9 เดือน 30

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ (30 45 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์) หลังการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 9 เดือน 30

ตารางที่ 4.5 ผลการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงที่ระดับต่าง ๆ (30 45 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์) ต่อค่าสี และความขาวของเนื้อปลาสวายโมงสด 31

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาและการทำให้สุก ลักษณะเนื้อสัมผัส และความเป็นกรด-ด่างของเนื้อปลาสวายโมงที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ (30 45 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์) 31

ตารางที่ 4.7 สมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่ใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในระดับต่างๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 10 เดือน 34

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.8 ค่าโลหิตวิทยาและค่าชีวเคมีของโลหิตของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 10 เดือน 35

ตารางที่ 4.9 องค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัวที่ได้รับอาหารที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับต่างๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) หลังจากการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 เดือน 39

ตารางที่ 4.10 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาที่ได้รับอาหารที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับต่างๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) หลังจากการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 เดือน 39

ตารางที่ 4.11 ผลการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ต่อค่าสี และความขาวของเนื้อปลาสวายโมงสด 40

ตารางที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาและการทำให้สุก ลักษณะเนื้อสัมผัส และความเป็นกรด-ด่างของเนื้อปลาสวายโมงที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) 40

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 ปลาสวายโมง	3
ภาพที่ 3.1 แสดงพื้นที่การนับเม็ดเลือดขาว (W) และเม็ดเลือดแดง (R)	14
ภาพที่ 3.2 Microhaematocrit capillary tube ที่ผ่านการปั่นเหวี่ยง	16
ภาพที่ 3.3 เนื้อปลาสวายโมงแบบแล่ (fillet)	19
ภาพที่ 4.1 ผลของการใช้ Brewer's yeast เป็นแหล่งโปรตีนทดแทน ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกัน	28
ภาพที่ 4.2 ผลของการใช้กากสาโท ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง ต่อการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกัน	36
ภาพที่ 4.3 ผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อ ความสูงของวิลไล และจำนวน goblet cell .ในส่วนของลำไส้เล็ก ของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 10 เดือน	37

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาในการทำงานวิจัย

จากการที่รัฐบาลมีนโยบายในการส่งเสริมให้เกษตรกรในจังหวัดนครพนมเลี้ยงปลาสวายโมงเพื่อการส่งออก ซึ่งเป็นปลาลูกผสมระหว่างพ่อพันธุ์ปลาโมง (*Pangasius bocourti*) และแม่พันธุ์ปลาสวาย (*Pangasianodon hypophthalmus*) แต่จากการสัมภาษณ์เกษตรกรในจังหวัดนครพนมที่เลี้ยงปลาชนิดนี้ พบว่า เกษตรกรนิยมใช้อาหารปลาดุกในการเลี้ยง เนื่องจากปลาสวายโมงใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงนานกว่าปลาดุก ซึ่งปลาดุกใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงประมาณ 3-4 เดือน (เวียง, 2542) ส่วนปลาสวายโมงใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงประมาณ 8 เดือน (สุวิภา, 2553) จึงเป็นสาเหตุทำให้ต้นทุนค่าอาหารเพิ่มสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้การศึกษาเพื่อลดต้นทุนค่าอาหารในปลาสวายโมงจึงน่าจะเป็นประโยชน์สำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงปลา โดยทั่วไปโภชนะประเภทโปรตีนถือเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญในการผลิตอาหารปลา ซึ่งอาหารปลาส่วนใหญ่นิยมใช้แหล่งโปรตีนจากปลาป่น เพราะปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพ มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ (NRC, 1993) อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีคุณภาพเมื่อเทียบกับวัตถุดิบตัวอื่น ๆ แต่ก็มีข้อจำกัดทางด้านราคา (ราคา 30-40 บาทต่อกิโลกรัม) เป็นเหตุให้ต้นทุนทางด้านอาหารสูงตามไปด้วย ดังนั้นการค้นหาแหล่งของโปรตีนชนิดใหม่เพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นจึงน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดต้นทุนค่าอาหารปลา โดยวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในการทดแทนปลาป่นจะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลา ผลผลิต และสิ่งแวดล้อม (Hardy and Tacon, 2002) ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้กากยีสต์แห้ง (dried brewer's yeast) และกากสาโท (rice wine residual) เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนการใช้ปลาป่นต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในโลหิต ระบบภูมิคุ้มกัน ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ ตลอดจนคุณภาพเนื้อปลา

กากยีสต์แห้งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์ ซึ่งมีโปรตีนประมาณ 30-46 เปอร์เซ็นต์ (NRC, 1998; Tacon et al., 2009; Loong, 2013) และมีราคาถูก (9-11 บาทต่อกิโลกรัม) จากการศึกษาที่ผ่านมามีการทดลองนำเอากากยีสต์แห้งมาใช้ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาหลายชนิด เช่น ในปลา Atlantic salmon (Engstad et al., 1992) ปลา Rainbow trout (Siwicki et al., 1994) และปลาดุกด้าน (Kumari and Sahoo, 2006) เป็นต้น ซึ่งผลจากการทดแทนดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกัน และสุขภาพของปลา ไม่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมรวมถึงคุณภาพน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงปลา (Fournier et al., 2002; Oliva-Teles et al., 2006)

สำหรับกากสาโทเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตสาโท ซึ่งในกากสาโทนั้นมีโปรตีนประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์ (Tsutsui et al., 1998) นอกจากนี้ยังมีราคาถูก (10 บาทต่อกิโลกรัม) เมื่อเทียบกับราคาปลาป่น (30-40 บาทต่อกิโลกรัม) จากการศึกษาที่ผ่านมามีการทดลองนำเอากากสาโทมา

ใช้ทดแทนปลาป่นในอาหารสัตว์ เช่น ในหนู (Tsutsui et al., 1998; Manabe et al., 2004) ซึ่งจากการทดลองดังกล่าวพบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของหนู สอดคล้องกับการศึกษาของ Vechklang et al. (2011) ได้มีการนำกากสาโทมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลานิลวัยอ่อน พบว่าการใช้กากสาโทที่ระดับ 22.5% ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต สุขภาพของปลา และลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ของลูกปลานิลวัยอ่อน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการใช้ กากยีสต์แห้ง และกากสาโท ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ และมีแหล่งการผลิตอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นแหล่งโปรตีนสำหรับการทดแทนปลาป่น เพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิตอาหารปลาสวายโมง

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

ทำให้ทราบผลของการใช้กากยีสต์แห้ง และกากสาโท เป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารปลาสวายโมง ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยา ระบบภูมิคุ้มกัน ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ และคุณภาพเนื้อ ของปลาสวายโมง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบระดับที่เหมาะสมของการใช้ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ (กากยีสต์แห้ง และกากสาโท) เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนการใช้ปลาป่นเป็นวัตถุดิบในอาหารปลาสวายโมง

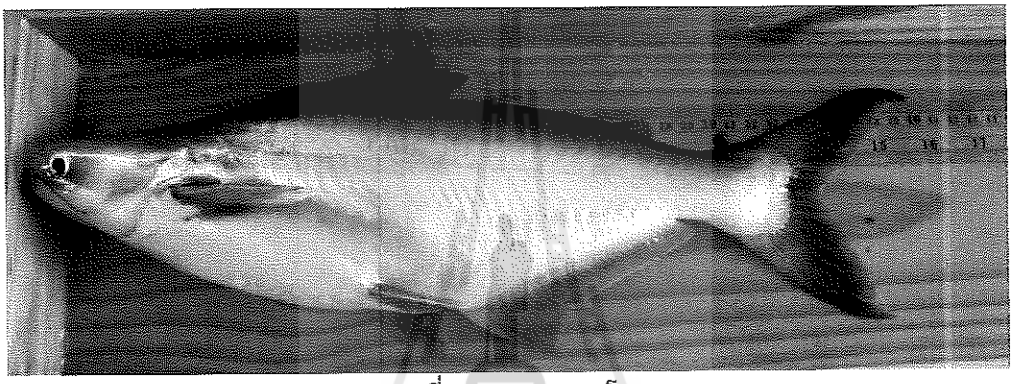
2. เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาสูตรอาหารสำหรับการเลี้ยงปลาสวายโมงนำไปสู่การลดต้นทุนทางด้านค่าอาหารสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้เลี้ยงปลาโดยตรง

หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์คือ สถาบันการศึกษาต่างๆ กรมประมง ตลอดจนหน่วยงานของรัฐและเอกชนที่สนใจ นอกจากนี้ผลงานวิจัย ยังสามารถตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติที่เป็นที่ยอมรับ เช่น Aquaculture, Aquaculture Nutrition และ Fish Nutrition เป็นต้น

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปลาสวายโมง

ปลาสวายโมง (Thai Panga; ภาพที่ 2.1) เป็นปลาลูกผสมที่เกิดจากการผสมข้ามสายพันธุ์ระหว่างแม่พันธุ์ปลาสวาย *(P. hypophthalmus)* และพ่อพันธุ์ปลาโมง *(P. bocourti)* (เดชา และศิริภรณ์, 2550) ปลาสวายโมงเป็นปลาที่อยู่ในวงศ์ Pangasiidae โดยมักเรียกรวมเป็นปลาในกลุ่มปลาหนัง (Catfish)



ภาพที่ 2.1 ปลาสวายโมง

ลักษณะสำคัญของปลาในกลุ่ม Pangasiidae คือ มีหนวด 2 คู่ รูจมูกช่องหน้าและหลังมีขนาดเท่ากัน ตั้งขนานกับแนวขอบหน้าจงอยปาก รูปร่างเพรียวจนถึงป้อม มีครีบไขมันเล็ก ครีบท้องมีก้านครีบ 6-8 อัน กระเพาะลมมีขนาดใหญ่รูปรียาว มี 1-4 ตอน ในช่องท้อง (อนุพงษ์ และคณะ, 2548) จากข้อมูลทางด้านชีววิทยาของปลาสวายโมง ลูกที่ออกมาจะมีลักษณะคล้ายไปทางพ่อพันธุ์ปลาโมงมากกว่าแม่พันธุ์ปลาสวาย ซึ่งทำให้ปลาสวายโมงมีลักษณะเด่น คือ เป็นปลาเนื้อขาว รสชาติดี มีก้างน้อย และไขมันต่ำ ทำให้เป็นที่นิยมของผู้บริโภคในต่างประเทศ อีกทั้งสามารถผลิตลูกปลาได้ในจำนวนที่มากกว่าและมีการเจริญเติบโตดีกว่าปลาโมงพันธุ์แท้ (สุวิภา, 2553) ดังนั้นประเทศไทยจึงสนับสนุนให้มีการเลี้ยงปลาสวายโมงเพื่อการส่งออกไปยังกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป รัสเซีย ยูเครน และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น (สุญาณีพร และคณะ, 2551) ซึ่งส่งเสริมให้มีการเลี้ยงอย่างแพร่หลายในบริเวณลุ่มแม่น้ำโขง โดยเฉพาะที่จังหวัดนครพนม ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการเลี้ยงปลาโมงมากที่สุดของประเทศ สำหรับการเพาะพันธุ์ปลาสวายโมง จะใช้วิธีการฉีดฮอร์โมนร่วมกับการผสมเทียม สามารถทำได้โดยเริ่มตั้งแต่การคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ในช่วงฤดูผสมพันธุ์ระหว่างเดือนเมษายน-มิถุนายน พ่อพันธุ์ปลาที่ใช้ คือ ปลาโมงน้ำหนักประมาณ 3.5 กิโลกรัม ซึ่งปลาโมงเพศผู้ที่สมบูรณ์พันธุ์เต็มที่เมื่อใช้มือบีบที่ช่องเพศเบา ๆ จะมีน้ำเชื้อสีขาวไหลออกมาเห็นได้ชัดเจน นำพ่อพันธุ์ปลาโมงที่แข็งแรง และสมบูรณ์เพศมาทำการฉีดฮอร์โมน โดย

การใช้ฮอร์โมนสังเคราะห์ LHRHa (Suprefact) 20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมร่วมกับยาเสริมฤทธิ์ Domperidone (Motilium M) 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สมร และคณะ, 2553) และแม่พันธุ์ปลาที่ใช้คือ ปลาสวายน้ำหนักประมาณ 4.3 กิโลกรัม ซึ่งปลาสวายเพศเมียที่มีความสมบูรณ์เพศเต็มที่บริเวณช่องเพศจะมีลักษณะบวมแดง ท้องอูมเป่ง โดยจะทำการฉีดฮอร์โมนจำนวน 2 เข็ม ซึ่งเข็มแรกฉีดเพื่อกระตุ้นการพัฒนาของไข่ โดยใช้ฮอร์โมนสังเคราะห์ LHRHa 10 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับ Domperidone 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังจากนั้น 6-8 ชั่วโมง จึงฉีดเข็มที่ 2 เพื่อกระตุ้นการตกไข่ โดยใช้ LHRHa 30 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับ Domperidone 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สมร และคณะ, 2550) จากนั้น 8-10 ชั่วโมง ก็ทำการรีดน้ำเชื้อและไข่ผสมกัน เพื่อทำการผสมเทียมแบบแห้งและนำไข่ที่ผสมกับน้ำเชื้อไปฟักในโรงเพาะฟักที่มีระบบน้ำหมุนเวียน

สำหรับการอนุบาลลูกปลาสวายโมงสามารถทำได้ 2 รูปแบบคือ การอนุบาลในระบบรางน้ำหมุนเวียน โดยนำลูกปลาสวายโมงอายุ 3 วัน อนุบาลในรางขนาด 0.30×3.00×0.25 เมตร ที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร อัตราการหมุนเวียนของน้ำ 4 ลิตรต่อนาที ด้วยอัตราความหนาแน่น 66 ตัวต่อลิตรหรือ 1,200 ตัวต่อราง (สุภาพ และคณะ, 2554) และอนุบาลในบ่อซีเมนต์กลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร สูง 80 เซนติเมตร ระดับน้ำเริ่มอนุบาลสูง 40 เซนติเมตร (ปริมาตรน้ำ 1,260 ลิตร) ปล่อยลูกปลาสวายโมงอายุ 3 วัน โดยใช้อัตราความหนาแน่นเริ่มแรก 12 ตัวต่อลิตร และเมื่ออนุบาลได้เป็นเวลา 10 วัน ให้ลดอัตราความหนาแน่นลงเหลือ 8 ตัวต่อลิตร และเพิ่มระดับน้ำเป็น 60 เซนติเมตร (1,880 ลิตร) (เดชา และ ศิริภรณ์, 2550)

การให้อาหารควรให้ความสำคัญในเรื่องของความถี่ในการให้อาหารเป็นพิเศษ เนื่องจากลูกปลามีลำไส้สั้น ย่อยอาหารได้เร็ว ทำให้มีความต้องการอาหารบ่อย ดังนั้นควรให้อาหาร 4-5 ครั้งต่อวัน และควรมีระยะห่างระหว่างมื้อเท่า ๆ กัน โดยให้อาหารผงที่มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ และควรให้ไรแดงมีอยู่ในบ่ออนุบาลตลอดเวลา จะช่วยทำให้ลูกปลามีขนาดสม่ำเสมอ และมีอัตราการรอดสูง เมื่อลูกปลาอายุ 15-24 วัน ควรให้อาหารชนิดเม็ดขนาด 1.5-2 มิลลิเมตร ที่มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 37 เปอร์เซ็นต์ จะได้ลูกปลาขนาดประมาณ 1 นิ้ว หากเลี้ยงต่อไปเป็นระยะเวลา 35-60 วัน จะได้ลูกปลาขนาด 3 นิ้ว ซึ่งสามารถนำไปเลี้ยงในกระชังได้ สำหรับการเลี้ยงปลาในเชิงพาณิชย์เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้กระชังที่มีขนาด 3×2×1.8 เมตร โดยจะปล่อยปลาสวายโมงในอัตราความหนาแน่นเท่ากับ 600 ตัวต่อกระชัง ซึ่งปลาต่อกระชังจะมีอัตราการรอดร้อยละ 70 และใช้เวลาการเลี้ยงประมาณ 8 เดือนต่อรอบ จะได้น้ำหนักตัวปลาสวายโมงเฉลี่ยประมาณ 0.7 กิโลกรัม (สุวิภา, 2553)

2.2 ความต้องการโปรตีนของปลา

ปลาแต่ละชนิดมีความต้องการสารอาหารต่างๆที่แตกต่างกัน สำหรับอาหารที่ใช้เลี้ยงปลาจะประกอบด้วยสารอาหารที่มีความสำคัญ และจำเป็นต่อร่างกาย ซึ่งมี 6 ประเภท คือ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน เกลือแร่ และน้ำ โดยทั่วไปถือว่าโปรตีนเป็นสารอาหารหลักที่สำคัญ และมี

ราคาแพงที่สุด (จูอะดี และคณะ, 2545; เวียง, 2542) และมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตมากกว่าสารอาหารชนิดอื่น ๆ ดังนั้นความต้องการโปรตีนของปลาจึงเป็นสารอาหารที่ได้รับความสนใจมากในการประกอบสูตรอาหารปลา ความต้องการโปรตีนของปลามี 3 ส่วน ได้แก่ ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพโปรตีนต่ำสุดที่ปลาได้รับเพื่อรักษาสมดุลไนโตรเจนในร่างกาย ไม่ให้น้ำหนักตัวของปลาเปลี่ยนแปลงโปรตีนส่วนเกินซึ่งจะใช้สำหรับการซ่อมแซมเนื้อเยื่อ ส่วนที่สึกหรอ และเสริมสร้างเนื้อเยื่อใหม่ โดยปกติปลาจะมีความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีวิต ประมาณ 1 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัวต่อวัน (วุฒิพร, 2541) ซึ่งความต้องการดังกล่าวเป็นปริมาณต่ำสุดที่ปลากินเข้าไป แต่ในความเป็นจริงความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต เป็นความต้องการที่มีผลโดยตรงต่อการเลี้ยงปลา ซึ่งเป็นการมุ่งเน้นที่จะทำให้ปลามีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ปลามีความต้องการโปรตีนอย่างน้อยที่สุดเท่ากับโปรตีนที่สะสมอยู่ในร่างกายของปลา โดยในปลากินพืช ปลากินทั้งพืชและเนื้อ และปลากินเนื้อ มีความต้องการโปรตีนประมาณ 18-25, 25-32, และ 30-35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ศักดิ์ชัย, 2536) ซึ่งในปลาสวายโมงนั้นเป็นปลากินทั้งพืชและเนื้อจะมีความต้องการโปรตีน 25-32% ซึ่งโปรตีนจะเกี่ยวข้องกับระบบการทำงานของร่างกายแทบทุกระบบ มีหน้าที่ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย ด้วยการสร้างเซลล์ใหม่แทนที่เซลล์เก่า ช่วยในการเจริญเติบโตของร่างกาย ทำให้ขนาดหรือน้ำหนักเพิ่มขึ้น เป็นแหล่งพลังงานสำรองของร่างกาย และเป็นส่วนประกอบของสารที่ควบคุมปฏิกิริยาเคมีต่างๆ เช่น เอนไซม์ สารต้านทานโรค และฮีโมโกบิน (วีรพงศ์, 2536) แหล่งโปรตีนที่สำคัญในการผลิตอาหารสัตว์น้ำ คือ ปลาป่น มีโปรตีนประมาณ 55-60 เปอร์เซ็นต์ มีกรดอะมิโนครบถ้วนทุกชนิด มีแคลเซียม ฟอสฟอรัส ปริมาณมาก และยังมีกลิ่นที่ดีช่วยกระตุ้นการกินอาหาร (วีรพงศ์, 2536) แต่มีข้อจำกัด คือ มีราคาค่อนข้างแพง (FAO, 2004) และอาจมีการปลอมปนอาทิ เช่น ทราย เปลือกหอยบด ยูเรีย ขนไก่ เป็นต้น มีผลทำให้ต้นทุนการผลิตอาหารปลาสูง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว การศึกษาครั้งนี้จึงมีแนวคิดในการใช้ผลพลอยได้ (By-Product) จากอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มมีแอลกอฮอล์เป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกเพื่อทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง

2.3 กากยีสต์แห้ง (dried brewer's yeast)

กากยีสต์แห้งเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกชนิดหนึ่งที่จะนำมาใช้ทดแทนปลาป่นได้ โดยกากยีสต์แห้งเป็นเซลล์ยีสต์ที่ไม่สามารถทำงานได้ และเป็นผลพลอยได้ (by-product) จากอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์ มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนประมาณ 30-46 เปอร์เซ็นต์ (สาโรจน์, 2547; NRC, 1998; Tacon et al., 2009; Loong, 2013) มีราคา 9.3 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งถูกกว่าเมื่อเทียบกับราคาปลาป่น นอกจากนี้พบว่าการผลิตเบียร์ของไทยมีแนวโน้มการผลิตเพิ่มสูงขึ้น โดยศูนย์วิจัยกสิกรไทยคาดว่าปริมาณการผลิตเบียร์ในปี 2555 จะเพิ่มขึ้นสูงถึงประมาณ 2,000 ล้านลิตร หรือขยายตัวร้อยละ 14.5 ซึ่งผลผลิตที่เพิ่มขึ้นนี้เอง ส่งผลทำให้ผลพลอยได้จำพวกกากยีสต์แห้งก็จะเพิ่มขึ้นด้วย จากการศึกษาที่ผ่านมามีการทดลองนำเอากากยีสต์แห้งมาใช้ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาหลายชนิด เช่น ปลา Atlantic salmon (Engstad et al., 1992) ปลา Rainbow trout (Siwicki et al., 1994) ปลา Sea bass (Oliva-Teles

and Goncalves, 2001) ปลาดุกด้าน (Kumari and Sahoo, 2006) และปลาจาระเม็ดน้ำจืด (Ozório et al., 2010) เป็นต้น ซึ่งผลจากการทดแทนดังกล่าวไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกัน และไม่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมรวมถึงคุณภาพน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงปลา (Vechklang et al., 2011; Fournier et al., 2002; Oliva-Teles et al., 2006) นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ยีสต์ที่ระดับ 200 กรัมต่อกิโลกรัมของอาหารในปลานิล *(Oreochromis niloticus)* สามารถปรับปรุงสมรรถนะการเจริญเติบโตได้ (Hisano et al., 2007) สอดคล้องกับ Oliva-Teles and Goncalves (2001) รายงานว่า การใช้กากยีสต์แห้งที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไม่มีผลต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและสามารถช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหารในปลา Sea bass เช่นเดียวกับ Li et al. (2005) และ Hoseinifar et al. (2011a) รายงานว่าการเสริมกากยีสต์แห้งที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ สามารถช่วยปรับปรุงสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลา Red drum และปลา Beluga นอกจากการใช้กากยีสต์แห้งเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นแล้วยังพบว่ากากยีสต์แห้งประกอบไปด้วย สารกระตุ้นภูมิคุ้มกันมากมาย เช่น β-glucan, nucleotide และ mannan-oligosaccharides (White et al., 2002) ซึ่งสารกระตุ้นภูมิคุ้มกันเหล่านี้สามารถช่วยเพิ่มระบบภูมิคุ้มกัน (Ortuño et al., 2002; Siwicki et al., 1994) และอาจจะช่วยส่งเสริมสุขภาพของปลาได้ โดยมีงานวิจัยชี้ให้เห็นว่าการใช้ยีสต์และยีสต์สกัดอาจจะมีผลต่อค่าโลหิตวิทยาและค่าชีวเคมีในโลหิต ซึ่งใช้เป็นดัชนีชี้วัดถึงสุขภาพของปลาได้ (Abdel-Tawwab et al., 2008; Andrews et al., 2009; Reyes-Becerril et al., 2008) นอกจากนี้ Li and Gatlin (2003) รายงานว่าการเสริมยีสต์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบภูมิคุ้มกัน และสามารถต้านทานแบคทีเรียในปลา Hybrid striped bass ได้ อีกทั้งมีการรายงานว่าอาหารปลามีบทบาทต่อการชี้วัดความสดและลักษณะที่ปรากฏของเนื้อปลา (Lie, 2001) ดังนั้นการนำเอา Brewer's yeast มาใช้ทดแทนปลาป่นในอาหารปลานั้น จะต้องคำนึงถึงคุณภาพของเนื้อปลาซึ่งมีการรายงานเกี่ยวกับการใช้ยีสต์ในอาหารปลาต่อสีของเนื้อปลา พบว่ายีสต์เป็นแหล่งของ carotenoid ในปลา Salmon (Sanderson and Jolly, 1994; Whyte and Sherry, 2001)

2.4 กากสาโท (rice wine residual)

กากสาโทเป็นผลพลอยได้ที่ได้จากการอุตสาหกรรมการผลิตสาโท (Sato) ซึ่งเป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ไม่ผ่านกระบวนการกลั่น จัดอยู่ในกลุ่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดไวน์ข้าว (Rice wine) เช่นเดียวกับสาเก (Sake) โดยในกากสาโทนั้นมีโปรตีนประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และกรดอะมิโนที่จำเป็นหลายชนิด (Tsutsui et al., 1998; Vechklang et al., 2011) หาง่ายและมีราคา 10 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งถูกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับราคาปลาป่น (30 - 40 บาทต่อกิโลกรัม) ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และในปัจจุบันมีการผลิตสาโทเพิ่มสูงขึ้นทุกๆปีทั้งในแบบการผลิตสาโทแบบดั้งเดิมประมาณ 225 แหล่ง และการผลิตเชิงพาณิชย์ประมาณ 5,764 แหล่ง ของประเทศไทย ซึ่งได้รับความนิยมในกลุ่มผู้บริโภคสาโทเป็นจำนวนมาก (Techakriengkri and Surakarnkul, 2007) มี

แนวโน้มการผลิตเพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลทำให้กากสาโทนั้นเพิ่มสูงขึ้นด้วย ดังนั้นกากสาโทจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารปลาได้ จากการศึกษาที่ผ่านมามีการทดลองนำเอากากสาโทมาใช้ทดแทนปลาป่นในอาหารสัตว์ เช่น ในหนู (Tsutsui et al., 1998; Manabe et al., 2004) ซึ่งจากการทดลองดังกล่าวพบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของหนู สอดคล้องกับการศึกษาของ Vechklang et al. (2011) ได้มีการนำกากสาโทมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลานิลวัยอ่อน พบว่าการใช้กากสาโทที่ระดับ 22.5% ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกันของปลา และลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ของลูกปลานิลวัยอ่อน จึงทำให้สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์ได้โดยสามารถลดต้นทุนค่าอาหารและลดปัญหาในด้านมลภาวะได้อีกด้วย โดยในกากสาโทนั้นประกอบไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่ได้จากข้าวและจุลินทรีย์เช่น ยีสต์และรา ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในกระบวนการหมัก (Liu et al., 2007) ซึ่งในผนังเซลล์ของยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* จะมี β-glucan, mannan-oligosaccharides และไคติน โดยมีความสามารถในการเพิ่มการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกัน การป้องกันโรค และสุขภาพของปลาได้ (Ortuno et al., 2002). ซึ่งกระตุ้นเซลล์ภูมิคุ้มกันในการทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ปกติเซลล์คุ้มกันในสิ่งมีชีวิตจะไม่ทำงานจนกว่าจะพบสิ่งแปลกปลอม โดยเบต้า-กลูแคนจะไปกระตุ้นการทำงานของเซลล์คุ้มกันเหล่านี้ให้ทำงานอยู่ตลอดเวลา (Dalmo and Bogwald, 2008) จากการศึกษาของ Dimitroglou et al. (2010) แสดงให้เห็นว่า ปลา gilthead sea bream ที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ยีสต์ มีความสูงของวิลไล ความหนาของ microvilli เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม สอดคล้องกับ Zhu et al. (2012) ที่รายงานว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ยีสต์ มีผลในการช่วยเพิ่มความสูงของลำไส้ในการดูดซึมสารอาหารในปลา channel catfish นอกจากนี้อาหารปลายังมีบทบาทต่อคุณภาพเนื้อปลา เช่น ความสด สี ปริมาณโปรตีนสูงไขมันต่ำ อีกทั้งยังมีความนุ่มของเนื้อและรสชาติที่ดีด้วย (Gjedrem, 1997)

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำกากยีสต์และกากสาโทมาใช้ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษาผลของการใช้กากยีสต์แห้ง (dried brewer's yeast) และกากสาโท (rice wine residual) เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง (Thai Panga) มีการดำเนินงานวิจัยทั้งในภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ ในส่วนของห้องปฏิบัติการนั้นใช้อาคารเครื่องมือ 1, 3 และ 10 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับการศึกษาในภาคสนามนั้นใช้ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (งานสัตว์น้ำ) เป็นสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย โดยการศึกษาครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการใช้กากยีสต์แห้ง (dried brewer's yeast) เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง (Thai Panga)

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการใช้กากสาโท (rice wine residual) เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง (Thai Panga)

ซึ่งทำการประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโต ค่าโลหิตวิทยา ค่าชีวเคมีในเลือด ระบบภูมิคุ้มกัน ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ และคุณภาพเนื้อของปลาสวายโมง
โดยใช้วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี พร้อมทั้งวิธีการศึกษา ดังนี้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 อุปกรณ์สำหรับการเลี้ยงปลา

1) บ่อดินขนาด 5 ไร่
2) โครงกระชังเหล็ก และกระชังขนาด 2×2×2.5 เมตร และ 1×1×1.5 เมตร
3) เครื่องปั๊มลม
4) สวิงขนย้ายปลา กะละมัง เป็นต้น

3.1.2 อุปกรณ์สำหรับการทำอาหารปลา

1) เครื่องบดวัตถุดิบอาหารสัตว์
2) เครื่องผสมอาหารสัตว์
3) เครื่องอัดเม็ดอาหารสัตว์แบบลอยน้ำ
4) วัตถุดิบอาหารสัตว์ ได้แก่ ปลาป่น กากยีสต์แห้ง กากสาโท กากถั่วเหลือง รำข้าว ปลายข้าว มันเส้น น้ำมันพืช และพรีมิกซ์
5) ตาชั่งขนาด 1 7 และ 60 กิโลกรัม
6) เครื่องชั่ง 2 และ 4 ตำแหน่ง
7) ตะแกรงสำหรับตากอาหาร

3.1.3 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในอาหารปลา

1) เครื่องแก้วสำหรับเตรียมสารเคมี

2) เครื่องชั่ง 2 และ 4 ตำแหน่ง

3) กระดาษชั่งสาร

4) อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า เป็นต้น

3.1.4 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ค่าทางโลหิตวิทยาและระบบภูมิคุ้มกัน

1) เครื่องแก้วสำหรับการเตรียมสารเคมี

2) กระบอกฉีดยาขนาด 3 มิลลิลิตร

3) เข็มฉีดยาเบอร์ G21 ยาว 1 นิ้ว

4) ตู้ควบคุมอุณหภูมิ -80 -20 4 และ 37oC

5) Haemacytometer พร้อมด้วย Cover glass

6) กล้องจุลทรรศน์

7) Microhaematocrit tube reader เป็นต้น

3.1.5 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้

1) ชุดเครื่องมือผ่าตัด

2) ขวดเก็บตัวอย่างลำไส้ปลา

3.1.6 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

3.2 สารเคมี

3.2.1 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในอาหารปลา ประกอบด้วย Petroleum ether, Hydrochloric acid, Sulfuric acid, Boric acid, Mix indicator, Sulfuric acid และ Sodium hydroxide เป็นต้น

3.2.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยาและระบบภูมิคุ้มกัน

1) น้ำมันกานพลู

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2) Dipotassium ethylenediaminetetraacetic acid (K_2EDTA)

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

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

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

6) สารเคมีที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ Complement activity ประกอบด้วยSheep red blood cell, Phosphate Buffered Saline (Sigma Chemical Co., St. Louis, Missouri, USA), Calcium chloride ($CaCl_2$), Magnesium chloride ($MgCl_2$) และ Gelatin เป็นต้น

7) สารเคมีที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยาและค่าชีวเคมีในเลือด ประกอบด้วย Total Protein kit, Cholesterol kit และ Blood Urea Nitrogen kit (บริษัท แปซิฟิค ไบโอเทค จำกัด)

3.2.3 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ ประกอบด้วย Alcohol 70 เปอร์เซ็นต์ และ Buffer formalin 10 เปอร์เซ็นต์

3.2.4 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อปลา ประกอบด้วย Thiobarbituric acid 15% และ Trichloroacetic acid 0.25 N HCl

3.3 วิธีการศึกษา

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการใช้กากยีสต์แห้ง (dried brewer's yeast) เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง (Thai Panga)

1.1) การเตรียมปลาทดลอง

นำลูกปลาสวายโมงมาจากสถานีประมงน้ำจืดจังหวัดนครพนมมาทำการเลี้ยงในกระชังขนาด 2×2×2.5 เมตร เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ด้วยอาหารปลาดุกเล็กที่มีโปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์ ทำการสุ่มปลาทดลองที่มีน้ำหนักประมาณ 36.35±0.07 กรัม ลงในกระชังๆ ละ 40 ตัว และเลี้ยงเพื่อให้คุ้นเคยกับสภาพทดลองเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ก่อนเริ่มการทดลอง

1.2) การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารทดลองที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 6 ทรีทเมนต์ ซึ่งอาหารแต่ละทรีทเมนต์จะมีระดับโปรตีนในอาหารเท่ากับ 320 กรัมต่อกิโลกรัม และพลังงานเท่ากับ 15.30 กิโลจูลต่อกรัม ดังนี้

ทรีทเมนต์ที่ 1 อาหารเม็ดสำเร็จรูปสูตรทางการค้า (Control A, CA)

ทรีทเมนต์ที่ 2 อาหารที่ผลิตขึ้นเองโดยทดแทนปลาป่นด้วยกากยีสต์แห้ง 0 เปอร์เซ็นต์ (Control B, CB)

ทรีทเมนต์ที่ 3 อาหารที่ผลิตขึ้นเองโดยทดแทนปลาป่นด้วยกากยีสต์แห้ง 30 เปอร์เซ็นต์ (D30)

ทรีทเมนต์ที่ 4 อาหารที่ผลิตขึ้นเองโดยทดแทนปลาป่นด้วยกากยีสต์แห้ง 45 เปอร์เซ็นต์ (D45)

ทรีทเมนต์ที่ 5 อาหารที่ผลิตขึ้นเองโดยทดแทนปลาป่นด้วยกากยีสต์แห้ง 60 เปอร์เซ็นต์ (D60)

ทรีทเมนต์ที่ 6 อาหารที่ผลิตขึ้นเองโดยทดแทนปลาป่นด้วยกากยีสต์แห้ง 75 เปอร์เซ็นต์ (D75)

หลังจากนั้นทำการสร้างสูตรอาหารสำหรับอาหารที่ผลิตขึ้นเองในทรีทเมนต์ที่ 3-6 ที่มีระดับของการใช้กากยีสต์แห้งทดแทนปลาป่นในอาหารแตกต่างกัน 4 ระดับ โดยมีการปรับให้สูตรอาหารทุกสูตรมีระดับโปรตีนเท่ากับ 320 กรัมต่อกิโลกรัม และระดับพลังงานเท่ากับ 15.30 กิโลจูลต่อกรัม ดังแสดงในตารางที่ 3.1 หลังจากนั้นนำวัตถุดิบอาหารที่มีขนาดใหญ่มาบดด้วยเครื่องบดอาหารสัตว์ให้มีขนาด 0.5 มิลลิเมตร แล้วนำส่วนผสมในแต่ละสูตรเข้าเครื่องผสมอาหารคลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน ยกเว้นน้ำมันพืช และ premix ที่จะผสมเป็นลำดับสุดท้าย หลังจากผสมแล้วนำไปเข้าเครื่องอัดเม็ดที่มีอุณหภูมิประมาณ 125-150°C จากนั้นนำไปตากให้แห้งเพื่อใช้สำหรับการเลี้ยงปลาต่อไป

1.3) การเตรียมกระชัง

กระชังที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 1×1×1.5 เมตร เป็นจำนวน 18 กระชัง แขวนอยู่ในโครงกระชังเหล็กที่ลอยอยู่ในบ่อดินขนาด 5 ไร่ ความลึก 2 เมตร ทำการสุ่มกระชังโดยวิธีสุ่มอย่างง่ายด้วยการจับสลาก ดังนี้ เขียนหมายเลขกระชังจำนวน 18 กระชังด้วย 1-18 หมายเลข จากนั้นทำการจับสลากครั้งที่ 1 หมายเลขที่ได้ คือทรีทเมนต์ที่ 1 ซ้ำที่ 1 จับสลากครั้งที่ 2 หมายเลขที่ได้ คือทรีทเมนต์ที่ 1 ซ้ำที่ 2 จนถึงการจับสลากครั้งสุดท้าย หมายเลขที่ได้ คือทรีทเมนต์ที่ 6 ซ้ำที่ 3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของวัตถุดิบ และองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองที่มีการใช้กากยีสต์แห้งทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารต่าง ๆ กัน (30 45 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์)

วัตถุดิบ	อาหารทดลอง (กรัมต่อกิโลกรัม)					
	CA	CB	D30	D45	D60	D75
ปลาป่น	-	300	210	165	120	75
กากถั่วเหลือง	-	358	365	369	381	403
Brewer's yeast	-	0	90	135	180	225
ปลายข้าว	-	50	50	50	40	30
รำข้าว	-	40	40	40	40	30
มันสำปะหลัง	-	190	190	190	190	190
น้ำมันพืช	-	42	35	31	29	27
Premix vitamin	-	10	10	10	10	10
Premix mineral	-	10	10	10	10	10
องค์ประกอบทางเคมีจากการคำนวณในสูตรอาหาร (กรัมต่อกิโลกรัม)						
โปรตีน	320.0	319.0	322.0	324.0	319.0	323.0
ไขมัน	68.0	74.0	73.0	73.0	73.0	74.0
NFE	418.5	425.0	429.7	427.5	431.2	426.4
เยื่อใย	42.5	36.0	35.3	36.5	34.8	34.6
เถ้า	96.0	94.0	90.0	85.0	86.0	91.0
DE (กิโลจูลต่อกรัม)[1]	14.9	15.2	15.3	15.3	15.3	15.3

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

1.4) การเก็บข้อมูล

เพื่อประเมินสรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร โดยให้ปลากินอาหารทดลองทั้งหมด 6 ทรีทเมนต์ๆ ละ 3 ซ้ำ โดยให้ปลากินจนอิ่มทุกวัน วันละ 2 ครั้ง คือเวลา 10.00 น. และ 16.00 น. เป็นระยะเวลา 9 เดือน บันทึกข้อมูล โดยทำการชั่งน้ำหนัก วัดความยาวของปลา เพื่อเป็นน้ำหนักและความยาวเริ่มต้น หลังสิ้นสุดการทดลองทำการชั่งน้ำหนักและวัดความยาวของปลา เพื่อเป็นน้ำหนักและความยาวสุดท้าย หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาผลของอาหารทดลองแต่ละสูตรต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของและประสิทธิภาพการใช้อาหาร ดังนี้

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

Weight gain (g) = น้ำหนักปลาหลังสิ้นสุดการเลี้ยง–น้ำหนักปลาเริ่มต้น

Specific growth rate, SGR (%/day) = $(\ln W_{t+1} - \ln W_t)/ T \times 100$

เมื่อ W_{t+1} คือ น้ำหนักปลาหลังสิ้นสุดการเลี้ยง

W_t คือ น้ำหนักปลาเริ่มต้น

T คือ ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)

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

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

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

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

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

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

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

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

1.5) การเก็บตัวอย่างเลือด

ทำการเก็บตัวอย่างเลือดปลาสวายโมงหลังสิ้นสุดการทดลอง โดยนำปลาสวายโมงจำนวน 9 ตัว ต่อทรีทเมนต์ มาทำการสลบปลาด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้น 220 ppm ทำการเจาะเลือดบริเวณ

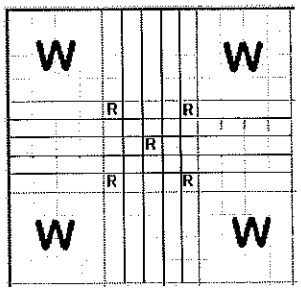
ส่วนหาง (caudal peduncle) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ด้วยเข็มฉีดยาขนาด 21 G โดยแบ่งเลือดเป็น 3 ส่วน ส่วนที่หนึ่งใส่ลงในหลอดที่มีการเคลือบด้วย K_2EDTA ทำการเก็บเลือดไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยาและค่ากลูโคสในเลือด ส่วนที่สองใส่ลงในหลอดที่มีการเคลือบด้วย K_2EDTA นำตัวอย่างเลือดไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000g อุณหภูมิ 4 °C นาน 10 นาที จะได้ส่วนที่เป็นพลาสมา หลังจากนั้นใช้ Auto micropipette ดูดพลาสมาใส่ eppendorf ขนาด 1.5 มิลลิลิตร แล้วเก็บไว้ในตู้แช่แข็งที่มีอุณหภูมิ -80 °C เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าชีวเคมีของโลหิต เช่น โปรตีนรวมในพลาสมา คอเลสเตอรอล และปริมาณยูเรียไนโตรเจน และส่วนที่สามใส่ลงในหลอด eppendorf ขนาด 1.5 มิลลิลิตรโดยไม่มีสาร K_2EDTA ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง เลือดจะเริ่มตกตะกอนบางส่วน นำตัวอย่างเลือดปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2500g อุณหภูมิ 4 °C นาน 15 นาที ใช้ Auto micropipette ดูดส่วนของซีรัมใส่ลงใน eppendorf ขนาด 1.5 มิลลิลิตร แล้วเก็บไว้ในตู้แช่แข็งที่มีอุณหภูมิ -80 °C เพื่อนำไปวิเคราะห์ระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ

1.6) การวิเคราะห์ค่าทางโลหิตวิทยา

การวิเคราะห์ค่าทางโลหิตวิทยาสามารถทำได้โดย การนับจำนวนเม็ดเลือดขาว (WBC) การตรวจจำแนกชนิดของเม็ดเลือดขาว การนับจำนวนเม็ดเลือดแดง (RBC) การคำนวณค่าดัชนีเม็ดเลือดแดง การวัดค่าฮีโมโกลบิน และการวัดปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่น โดยมีวิธีการและขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้

1.6.1) WBC (White Blood cells count) การนับจำนวนเม็ดเลือดขาวของปลาสวายโมง โดยการอาศัยหลักการเจือจางเม็ดเลือดด้วย WBC pipette ดูดตัวอย่างเลือดจากเลือดส่วนที่ 1 (มี K_2EDTA ผสมอยู่) เข้า WBC pipette ให้ถึงขีด 0.5 พอดี ทำการดูดน้ำยาเจือจางเลือดด้วยน้ำยานับเม็ดเลือดขาวตามสูตร Natt-Herrick's stain ของ Edward (2000) ถึงขีดปริมาตร 101 จากนั้นใช้นิ้วหัวแม่มือกับนิ้วชี้ปิดปลายปิเปตทั้งสองเขย่าไปมาในแนวนอนประมาณ 2-3 นาที หยดตัวอย่างเลือดของปลาในหลอด Pipette ทิ้ง 3-4 หยด หลังจากนั้นนำตัวอย่างเลือดไปนับด้วย Haemocytometer ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยใช้เลนส์กำลังขยายต่ำ (40x) นับในช่อง W ทั้ง 4 ช่อง ดังแสดงในภาพที่ 3.1 แล้วนำมาคำนวณจำนวนเม็ดเลือดขาวทั้งหมดต่อ 1 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ด้วยสูตรคำนวณด้านล่างนี้

WBC = ค่าเฉลี่ยจำนวนเม็ดเลือดขาวที่นับได้ทั้งหมด 4 ช่อง × 20 (1:20 dilution) × 2.5 (1/0.4)



ภาพที่ 3.1 แสดงพื้นที่การนับเม็ดเลือดขาว (W) และเม็ดเลือดแดง (R)

ที่มา: Susan (2000)

1.6.2) การตรวจจำแนกชนิดเม็ดเลือดขาว (Differential white blood cells count) ทำการสเมียร์เลือดลงบนสไลด์แก้วที่สะอาดทิ้งไว้ให้แห้ง นำมาตรึงเซลล์ด้วย Absolute methanol ปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ย้อมสไลด์ด้วยสี Giemsa เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นแช่ในบัฟเฟอร์เป็นเวลา 5 นาที ล้างออกด้วยน้ำกลั่นและทิ้งไว้ให้แห้ง นำมานับจำแนกชนิดของเม็ดเลือดขาวด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 40x โดยนับเซลล์เม็ดเลือดขาวทั้งหมด 100 เซลล์ต่อ 1 สไลด์

1.6.3) Red blood cells count (RBC) การนับจำนวนเม็ดเลือดแดง โดยนำตัวอย่างเลือดส่วนที่ 1 มาทำการเจือจางด้วยน้ำยาเจือจาง Grower's solution โดยอาศัยหลักการทำลายเซลล์เม็ดเลือดขาวได้อย่างสมบูรณ์ ทำการเจือจางเลือด 1 ส่วน ต่อ Grower's solution 200 ส่วน คือ เติมเลือดส่วนที่ 1 ประมาณ 20 ไมโครลิตร ลงใน Grower's solution 4 มิลลิลิตร แล้วเขย่าส่วนผสมให้เข้ากัน หยดเลือดที่ผสมกับน้ำยาเจือจางลงใน Haemocytometer ให้เต็มทั้งสองด้าน แล้วนำมานับจำนวนเม็ดเลือดแดงด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยใช้กำลังขยาย 40 เท่า นับในช่อง R ทั้ง 5 ช่อง ดังแสดงในภาพที่ 3.1 แล้วนำมาคำนวณจำนวนเม็ดเลือดแดงต่อ 1 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ด้วยสูตรคำนวณด้านล่างนี้

RBC = ค่าเฉลี่ยจำนวนเม็ดเลือดแดงที่ได้ทั้งหมด 5 ช่อง (R) $\times$200 (1:200 dilution) $\times 25 \times 10^4$

1.6.4) ค่าดัชนีเม็ดเลือดแดง (Wintrobe Erythrocyte indices) ประกอบด้วย

- ปริมาตรเฉลี่ยของเม็ดเลือดแดง (Mean corpuscular volume, MCV) มีหน่วยเป็นเฟมโตลิตร (femtoliter, fl หรือ 10^{-15} L) เป็นค่าที่ใช้ในการแยกชนิดของภาวะเลือดจางตามลักษณะรูปร่างของเม็ดเลือดแดง ดังสูตร

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

- ปริมาณฮีโมโกลบินเฉลี่ยต่อเซลล์เม็ดเลือดแดง (Mean corpuscular haemoglobin; MCH) มีหน่วยเป็นพิโกกรัมต่อเซลล์ (picotograme: 10^{-12} g/cell) คำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน (Hb) และจำนวนเม็ดเลือดแดง (RBC) ดังสูตร

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

- ความเข้มข้นเฉลี่ยของฮีโมโกลบินในเซลล์เม็ดเลือดแดง (Mean corpuscular haemoglobin concentration; MCHC) มีหน่วยเป็นกรัมต่อลิตร (g/L) สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Hb และความเข้มข้นของปริมาตรเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (Hct)

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

1.6.5) ฮีโมโกลบิน (Haemoglobin; Hb) ใช้ชุด Haemoglobin set (Cyanmethemoglobin Method) เติมน้ำยา Drabkin Reagent ลงในหลอดแก้ว 5 มิลลิลิตร ใส่เลือดที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด K2EDTA (ส่วนที่ 1) ลงในหลอด 20 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นแสง 540 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าดูดกลืนแสงไปคำนวณหาค่าฮีโมโกลบินจากกราฟมาตรฐานซึ่งอยู่ในชุด Hemoglobin set

1.6.6) ปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (Haematocrit, Hct) เขย่าเลือดในหลอดที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (ส่วนที่หนึ่ง) ให้แน่ใจว่าเม็ดเลือดไม่ตกตะกอน จากนั้นนำปลายหลอด microhaematocrit capillary tube จุ่มลงในหลอดเก็บเลือดให้เลือดไหลเข้ามาใน capillary tube ประมาณ 4 ใน 5 ของความยาว tube แล้วอุดปลายด้วยดินน้ำมัน นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10000 rpm อุณหภูมิ 4°C นาน 10 นาที วัดความยาวของการอัดตัวเม็ดเลือด และความยาวทั้งหมดของเม็ดเลือดแดง ดังแสดงในภาพที่ 3.2 แล้วคำนวณจากสูตร

$$\text{ปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{ปริมาตรเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (เซนติเมตร)}}{\text{ปริมาตรเลือดทั้งหมด (เซนติเมตร)}} \times 100$$

ภาพที่ 3.2 Microhaematocrit capillary tube ที่ผ่านการปั่นเหวี่ยง

1.7) การวิเคราะห์ค่าชีวเคมีในโลหิต

การวิเคราะห์ค่าชีวเคมีในโลหิตสามารถทำได้โดย การวัดกลูโคสในเลือด การวัดโปรตีนรวมในพลาสมา การวัดปริมาณยูเรียไนโตรเจนในพลาสมา และการวัดปริมาณคอเลสเตอรอลในพลาสมา โดยมีวิธีการและขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้

1.7.1) การวัดกลูโคสในเลือด สามารถทำได้โดยนำเลือดในส่วนที่หนึ่ง มาทำการวิเคราะห์ระดับกลูโคสในเลือดโดยใช้เครื่องวัดระดับกลูโคสในเลือดยี่ห้อ Accutrend รุ่น GCT Meter (Mannheim

Germany) โดยใส่แผ่นทดสอบกลูโคสที่ต้องการทำการทดสอบเข้าทางด้านท้ายของเครื่อง จากนั้นเปิดฝาเครื่อง และหยดเลือดลงบนแผ่นทดสอบจำนวน 15 ไมโครลิตรใ ห้เต็มบริเวณแถบทดสอบ จากนั้นปิดฝาและรออ่านผลการทดสอบ

1.7.2) การวัดโปรตีนรวมในพลาสมา สามารถทำได้โดยนำเลือดส่วนที่สองมาทำการวิเคราะห์โดยใช้ชุดทดสอบ Total protein kit ซึ่งอาศัยหลักการ Biuret method จากชุดทดสอบสำเร็จรูปของบริษัท แปซิฟิค ไบโอเทค จำกัด โดยวิธีการตรวจวิเคราะห์จะทำตามวิธีการที่ระบุมาจากชุดทดสอบสำเร็จรูป

1.7.3) การวัดปริมาณยูเรียไนโตรเจนในพลาสมา (Blood Urea Nitrogen) สามารถทำได้โดยนำเลือดส่วนที่สองมาทำการวิเคราะห์ ซึ่งอาศัยหลักการ Urease colorimetric method จากชุดทดสอบสำเร็จรูปของบริษัท แปซิฟิค ไบโอเทค จำกัด โดยวิธีการตรวจวิเคราะห์จะทำตามวิธีการที่ระบุมาจากชุดทดสอบสำเร็จรูป

1.7.4) การวัดปริมาณคอเลสเตอรอล (Cholesterol) ในพลาสมา สามารถทำได้โดยนำเลือดส่วนที่สองมาทำการวิเคราะห์อาศัยหลักการ Enzymatic colorimetric method จากชุดทดสอบสำเร็จรูปของบริษัท แปซิฟิค ไบโอเทค จำกัด โดยวิธีการตรวจวิเคราะห์จะทำตามวิธีการที่ระบุมาจากชุดทดสอบสำเร็จรูป

1.8) การวิเคราะห์การทำงานของการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกัน

การวิเคราะห์การทำงานของการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันสามารถทำได้โดย การวิเคราะห์ Lysozyme activity การวิเคราะห์ Alternative complement activity และการวิเคราะห์ Total immunoglobulin โดยมีวิธีการและขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้

1.8.1) การวิเคราะห์ Lysozyme activity ทำการวิเคราะห์ตามวิธีการที่ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Demers and Bayne (1997) ซึ่งวิธีการนี้จะใช้ *Micrococcus lysodeikticus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวกเป็นเซลล์สับสเตรท (Substrate) เพื่อดูความสามารถในการทำงานของไลโซไซม์ ต่อการทำลาย M. lysodeikticus เปรียบเทียบกับการทำลาย *M. lysodeikticus* ด้วยสารละลายมาตรฐานไลโซไซม์ chicken egg white lysozyme (Sigma Chemical Co. St. Louis Missouri USA) ที่ทราบค่าความเข้มข้น โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้ เตรียมสารละลายไลโซไซม์ในบัฟเฟอร์ 0.1 M phosphate citrate buffer (pH 5.8) ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, และ 14 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และเตรียมสารละลายเชื้อแบคทีเรีย *M. lysodeikticus* ให้มีความเข้มข้น 0.075 เปอร์เซ็นต์ ทำการสร้างกราฟมาตรฐานของระดับเอนไซม์ โดยการเติมสารละลายมาตรฐานไลโซไซม์ตามความเข้มข้นที่เตรียมไว้ ปริมาตร 25 ไมโครลิตร ลงใน Plate 96 well หรือเติม Serum ของเลือดในส่วนที่สาม (ไม่มี K_2EDTA) ตัวอย่างละ 25 ไมโครลิตร ลงใน Plate 96 well โดยใส่ตัวอย่างละ 3 หลุม หลังจากนั้นเติม 0.075 เปอร์เซ็นต์ *M. lysodeikticus* ปริมาตร 175 ไมโครลิตรลงใน Plate 96 well ที่มีสารละลายมาตรฐานหรือ Serum อยู่ในหลุม หลังจากนั้นทำการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาว

คลื่น 450 นาโนเมตร ที่ 0 นาที และทุก ๆ 30 นาที แล้วเปรียบเทียบระดับไลโซไซม์ใน serum กับค่าการทำงานของสารละลายมาตรฐานไลโซไซม์

1.8.2) การวิเคราะห์ Alternative complement activity ทำการวิเคราะห์โดยดัดแปลงมาจากวิธีของ Montero et al. (1998) สามารถทำได้โดย นำเม็ดเลือดแดงแกะมาล้างด้วยสารละลาย Phostphate Buffered saline pH 7.4 with Ca^{2}+ Mg^{2}+ และ Gelatin (PBS^{+++}) 3 ครั้ง แล้วปรับความเข้มข้นของเม็ดเลือดแดงให้เท่ากับ 5×10^{7} เซลล์ต่อมิลลิลิตร ทำการเจือจาง serum ของตัวอย่างเลือดด้วย PBS^{+++}ให้ได้ปริมาตรเท่ากับ 200 ไมโครลิตร ที่ระดับ 0.625 1.25 2.5 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ใช้ PBS^{+++} เพื่อเป็นกลุ่มของ spontaneous lysis และใช้น้ำกลั่นเป็นหลอดที่มีการ haemolysis 100 เปอร์เซ็นต์ ทำการเติมเม็ดเลือดแดงแกะที่ปรับความเข้มข้นแล้วปริมาตร 40 ไมโครลิตร ลงในหลอดที่มี serum หลอดที่มี PBS^{+++} อย่างเดียว และหลอดที่มีน้ำกลั่น ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 60 นาที หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำสารละลายใสด้านบนมาทำการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร และทำการคำนวณ haemolytic titer ดังนี้

$$\% \text{ lysis (y)} = \frac{(\text{OD540 ของ Serum} - \text{OD540 ของ spontaneous lysis}) \times 100}{(\text{OD540 ของ haemolysis 100\%} - \text{OD540 ของ spontaneous lysis})}$$

และทำการคำนวณ y/(1-y) ของแต่ปฏิกิริยา และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า y/(1-y) และปริมาตร serum และหาค่า 1 CH50 คือ ค่าของปริมาตรของ serum ที่ทำให้ได้ 50% lysis (หรือ y/(1-y) =1)

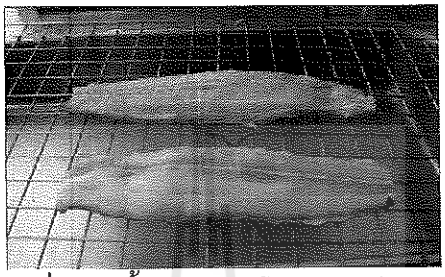
1.8.3) การวิเคราะห์ Total immunoglobulin สามารถทำได้โดย การหาค่าความแตกต่างระหว่างโปรตีนรวมในพลาสมากับโปรตีนของพลาสมาที่ผ่านการตกตะกอนโปรตีนชนิดโกลบูลินด้วย Polyethylene glycol 12 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ชุดทดสอบ Total protein kit ของบริษัท แปซิฟิค ไบโอเทค จำกัด ซึ่งดัดแปลงจากวิธีการของ Amar et al. (2004)

1.9) การเก็บตัวอย่างลำไส้เล็ก

ทำการเก็บตัวอย่างลำไส้เล็กของปลาสวายโมงหลังสิ้นสุดการทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์ลักษณะจุลสัณฐานวิทยา โดยสุ่มปลาสวายโมงจำนวน 9 ตัวต่อทรีทเมนต์ แบ่งออกเป็นลำไส้เล็กส่วนต้น (Foregut) ส่วนกลาง (Midgut) และส่วนปลาย (Hindgut) จากนั้นนำลำไส้เล็กทั้ง 3 ส่วน มาแช่ในขวดที่มี phosphate-buffer formalin 10 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 7 วัน หลังจากนั้นนำลำไส้เล็กทั้ง 3 ส่วน มาล้างน้ำสะอาดให้น้ำไหลผ่านประมาณ 10 นาที จากนั้นนำมาแช่ในแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ และนำเนื้อเยื่อฝังในกล่อง paraffin จากนั้นทำการตัดเป็นชิ้นเล็กๆให้มีความหนาประมาณ 5 µm ให้ติดอยู่บนสไลด์ และนำสไลด์มาย้อมสีด้วย Haematoxylin และ Eosin (H&E) จากนั้นทำการวัดความสูงของเยื่อบุผิวของ villus ในส่วนที่ติดสีย้อมภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยวัดในแต่ละตำแหน่งของลำไส้เล็ก และนับจำนวนของ globet cell ในแต่ละตัวอย่างตามวิธีของ Vechklang et al. (2011)

1.10) การเก็บตัวอย่างเนื้อปลา

เก็บตัวอย่างเนื้อของปลาสวายโมงหลังสิ้นสุดการทดลอง โดยสุ่มเก็บตัวอย่างเนื้อปลาจากปลาสวายโมง 9 ตัวต่อทรีทเมนต์ บันทึกน้ำหนักและความยาวของปลา หลังจากนั้นทำการตัดเหงือกแล้วแช่ตัวปลาลงในน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 1 °C จนกว่าเลือดจะไหลออกจากตัวปลาหมด เพื่อเป็นการป้องกันการปนเปื้อนของเลือดในเนื้อปลา จากนั้นทำการแล่เนื้อปลาออกเป็น 2 ชิ้น (ซ้าย-ขวา) ดังแสดงในภาพที่ 3.3 ล้างด้วยน้ำอุณหภูมิ 4 °C แล้วพักไว้บนตะแกรงประมาณ 5 นาที จากนั้นบันทึกน้ำหนักของเนื้อปลา และทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของเนื้อปลา



ภาพที่ 3.3 เนื้อปลาสวายโมงแบบแล่ (fillet)

1.11) การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเนื้อปลา

นำเนื้อปลาทางด้านซ้ายของลำตัวปลา มาทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเนื้อปลา อันได้แก่ สีของเนื้อ ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อปลาที่ทำให้สุก ค่าการสูญเสียน้ำของเนื้อปลาระหว่างการเก็บ (Drip loss) และค่าการสูญเสียน้ำหลังจากการทำให้สุก (Cook loss)

1.11.1) การวิเคราะห์สีของเนื้อ (Meat color) สามารถทำได้โดยการตัดเนื้อปลาสดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง×ยาว×หนา เท่ากับ 3×3×1 เซนติเมตร จำนวน 3 ตำแหน่งต่อเนื้อปลา 1 ชิ้น ซึ่งทำการประเมินหาค่าเฉลี่ยของสีเนื้อปลา จะกระทำโดยใช้เครื่อง Hunter Lab ยี่ห้อ Color Quest XE Spectrophotometer (Hunter Associates Laboratory Inc. Virginia USA) ที่ใช้พื้นที่การวัดประมาณ 8 มิลลิเมตร ซึ่งรายงานค่าที่ได้ภายใต้ระบบ CIE (Complete International Commission on Illumination) ตามวิธีของ Hunter (1987) ซึ่งมีการจำแนกค่าสี (color profile) ออกเป็น ค่า L*-value (lightness) ค่า a*-value (redness) และค่า b*-value (yellowness) และความขาวของเนื้อสามารถคำนวณได้จากสมการ

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

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

ค่า a* คือ ค่าบวก (+) แสดงค่าสีแดง ค่า a* คือ ค่าลบ (-) แสดงค่าสีเขียว

ค่า b* คือ ค่าบวก (+) แสดงค่าสีเหลือง ค่า b* คือ ค่าลบ (-) แสดงค่าสีน้ำเงิน

1.11.2) ค่าการสูญเสียน้ำของเนื้อปลาระหว่างการเก็บ (Drip loss) วิเคราะห์โดยนำเนื้อปลาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°C เป็นระยะเวลา 3 เดือน มาทำละลายบนตระแกรงที่อุณหภูมิห้อง จนอุณหภูมิของปลาเท่ากับอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักปลาหลังการทำละลาย คำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บ ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการของไชยวรรณ และคณะ (2545) ดังนี้

$$\% \text{ การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บ} = \frac{\text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักปลาหลังการทำละลาย}}{\text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น}} \times 100$$

1.11.3) ค่าการสูญเสียน้ำหลังจากการทำให้สุก (Cook loss) วิเคราะห์โดยนำเนื้อปลาที่ได้หลังจากการทำ drip loss บรรจุลงในถุงพลาสติกปิดชนิดทนความร้อน (poly-bag zipper) นำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อน (water bath) ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นนำไปแช่ในน้ำเย็นทันทีเป็นเวลา 10 นาที แล้วผึ่งเนื้อปลาไว้บนตะแกรงเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักเนื้อปลา แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหลังจากการทำให้สุกที่ดัดแปลงมาจากวิธีการของ ไชยวรรณ และคณะ (2545) ดังสมการ

$$\% \text{ การสูญเสียน้ำหลังการทำให้สุก} = \frac{\text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักปลาหลังการทำให้สุก}}{\text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น}} \times 100$$

1.11.4) วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเนื้อปลาที่ทำให้สุก (Breaking force) โดยตัดเนื้อปลาที่ได้หลังจากการวิเคราะห์ cook loss ขนาด 2×2 มิลลิเมตร (กว้าง×ยาว) ตรวจวัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA.XT.Plus Stable Micro Systems Surrey UK) หัววัดแบบ cylindrical ขนาด 10 มิลลิเมตร ที่อัตราการเคลื่อนที่ของหัววัด 1 มิลลิเมตรต่อนาที ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Zhu et al. (2004)

1.12) การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของเนื้อปลา

นำเนื้อที่ได้จากการแล่ในส่วนด้านขวาของลำตัวปลามาทำการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของเนื้อ ได้แก่ ปริมาณโภชนะในเนื้อปลา และความเป็นกรด-ด่าง โดยทำการบดเนื้อปลารวมกัน และแบ่งเนื้อปลาเพื่อนำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

1.12.1) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเนื้อปลา สามารถทำได้โดยนำตัวอย่างเนื้อปลาที่บดละเอียดมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ตามวิธีการของ AOAC (2000) ดังแสดงวิธีการศึกษาในภาคผนวก ข

1.12.2) การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) สามารถทำได้โดย นำเนื้อปลาที่บดแล้วมาชั่งให้ได้ 10 กรัม ผสมน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตรปั่นให้เข้ากันและวัดความเป็นกรด-ด่างด้วย pH meter ตามวิธีการของ Benjakul and Bauer (2001)

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการใช้กากสาโท (rice wine residual) เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง (Thai Panga)

2.1) การเตรียมปลาทดลอง

ใช้ลูกปลาสวายโมงที่ได้จากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดจังหวัดนครพนม มาทำการเลี้ยงในกระชังบ่อดินขนาด 5 ไร่ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ และให้กินอาหารปลาดุกเล็กที่มีโปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการสุ่มปลาทดลองที่มีน้ำหนักประมาณ 220.38±1.60 กรัม ลงในกระชัง 1×1×1.5 เมตร กระชังละ 40 ตัว จำนวน 18 กระชัง มีการให้อากาศในปลาทุกกระชัง และทำการเลี้ยงเพื่อปรับสภาพให้คุ้นเคยกับสภาพการทดลองเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ก่อนเริ่มการทดลอง และจึงทำการเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 10 เดือน

2.2) การเตรียมอาหารทดลอง

นำวัตถุดิบอาหารปลามาทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี (โปรตีน ความชื้น ไขมัน เถ้า เยื่อใย) ตามวิธีการของ A.O.A.C. (1995) จากนั้นทำการสร้างสูตรอาหารทดลองที่มีการปรับให้สูตรอาหารทุกสูตรมีระดับโปรตีนเท่ากับ 32 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานเท่ากับ 15.00 กิโลจูลต่อกรัม ดังแสดงในตารางที่ 3.2 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 3.2 ส่วนผสมของวัตถุดิบ และองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองที่มีการใช้กากสาโท ทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารต่างกัน 5 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
มันสำปะหลัง	-	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
องค์ประกอบทางเคมีจากการคำนวณในสูตรอาหาร (กรัมต่อกิโลกรัม)						
โปรตีน	320.0	317.0	318.0	319.0	319.0	320.0
เยื่อใย	42.5	39.0	42.0	44.0	47.0	51.0
ไขมัน	68.0	93.0	92.0	88.0	87.0	84.0
เถ้า	96.0	111.0	105.0	98.0	92.0	86.0
NFE	418.5	366.0	369.0	375.0	379.0	383.0
DE (กิโลจูลต่อกรัม)[1]	14.90	14.91	14.94	14.91	14.94	14.91

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

หลังจากนั้นนำวัตถุดิบอาหารที่มีขนาดใหญ่มาบดด้วยเครื่องบดอาหารสัตว์ให้มีขนาด 0.5 มิลลิเมตร แล้วจึงนำส่วนผสมของอาหารในแต่ละสูตรมาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันโดยใช้เครื่องผสมอาหารแบบแนวนอน ยกเว้นน้ำมันพืช และ premix ที่จะผสมเป็นลำดับสุดท้าย หลังจากผสมเสร็จแล้วนำไปเข้าเครื่องอัดเม็ดอาหารแบบลอยน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 125-150°C จากนั้นนำอาหารแต่ละสูตรมาผึ่งให้แห้ง เมื่ออาหารแห้งเก็บอาหารใส่ถุง label สูตรอาหารที่ถุงให้เรียบร้อย เพื่อนำไปใช้เลี้ยงปลาต่อไป

2.3) การเตรียมกระชัง

กระชังที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 1×1×1.5 เมตร เป็นจำนวน 18 กระชัง ซึ่งแขวนอยู่ในโครงกระชังเหล็กที่ลอยอยู่ในบ่อดินขนาด 5 ไร่ ความลึก 2 เมตร โดยทำการสุ่มกระชังด้วยวิธีสุ่มอย่างง่ายด้วยการ

จับสลาก ดังนี้ เขียนหมายเลขกระชังทั้งหมด 18 กระชังด้วยหมายเลข 1-18 หมายเลข จากนั้นทำการจับสลากครั้งที่ 1 หมายเลขที่ได้ คือ ทรีทเมนต์ที่ 1 ซ้ำที่ 1 จับสลากครั้งที่ 2 หมายเลขที่ได้ คือ ทรีทเมนต์ที่ 1 ซ้ำที่ 2 จับสลากจนถึงครั้งสุดท้าย หมายเลขที่ได้ คือ ทรีทเมนต์ที่ 6 ซ้ำที่ 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 หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาผลของอาหารทดลองแต่ละสูตรต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของและประสิทธิภาพการใช้อาหารดังแสดงในการคำนวณสูตรเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

สำหรับการเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์เลือดปลา การเก็บตัวอย่างลำไส้เล็ก และการเก็บตัวอย่างเนื้อปลา ใช้วิธีการศึกษาเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

2.5) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษาผลของการใช้กากยีสต์แห้ง (dried brewer's yeast) และกากสาโท (rice wine residual) เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง (Thai Panga) ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ค่าโลหิตวิทยา ค่าชีวเคมีในโลหิต การตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกัน ลักษณะจุลสัณฐานวิทยาในลำไส้เล็ก และคุณภาพเนื้อ มีการวางแผนแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design ; CRD) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ด้วยวิธี Duncan's new multiple rang test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ทำการวิเคราะห์แนวโน้มของการใช้กากยีสต์แห้งและกากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับต่างๆ ด้วยวิธี Orthogonal polynomials โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS V.16

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1 ผลของการใช้กากยีสต์แห้ง (Brewer's yeast) เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง

ผลการศึกษาการใช้ Brewer's yeast เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาสวายโมง โดยเริ่มเลี้ยงปลาที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 36.35±0.07 กรัม ด้วยอาหารทดลองที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนและพลังงานเท่ากันทุกสูตร ซึ่งเปอร์เซ็นต์โปรตีนมีค่าเท่ากับ 320 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร และพลังงานมีค่าเท่ากับ 15.30 กิโลจูลต่อกรัม โดยอาหารทดลองจะมีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นที่ระดับ 30 45 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์ และมีอาหารกลุ่มควบคุม 2 กลุ่ม ได้แก่ อาหารสูตรทางการค้า (CA) และอาหารที่ทำขึ้นเองโดยไม่มีการใช้ Brewer's yeast (CB) ใช้อาหารดังกล่าวเลี้ยงปลาสวายโมงเป็นระยะเวลา 9 เดือน พบว่า น้ำหนักสุดท้าย (Final weight) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) และอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (DGR) ของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่มีการทดแทนปลาป่นด้วย Brewer's yeast ที่ระดับ 45 เปอร์เซ็นต์ (D45) มีค่าสูงที่สุด และปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์อื่น ๆ (P<0.05 ; ดังตารางที่ 4.1) สอดคล้องกับปริมาณการกินได้ (Feed intake) ของปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) พบว่ามีค่าต่ำสุดเช่นกันเมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์อื่น ๆ (P<0.05) และปลาที่ได้รับอาหารที่มีการทดแทนปลาป่นด้วย Brewer's yeast ที่ระดับเพิ่มขึ้น 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้มีสมรรถนะการเจริญเติบโตลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีการทดแทนปลาป่นด้วย Brewer's yeast ที่ระดับ 45 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลของการวิเคราะห์แนวโน้มของการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตเป็นแบบโค้งกำลังสอง (Quadratic) (P<0.05) นอกจากนี้จากการศึกษา พบว่าอาหารที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ไม่มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (FE) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และค่าดัชนีตับ (HSI) (P>0.05 ; ดังตารางที่ 4.1) และหลังสิ้นสุดการทดลอง พบว่าอัตราการรอดของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารสูตรที่ทำขึ้นเองโดยไม่มีการใช้ Brewer's yeast (CB) มีค่าต่ำที่สุด และมีความแตกต่างจากทรีทเมนต์อื่น ๆ ที่ใช้ในการศึกษา (P<0.05) นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาต้นทุนค่าอาหารต่อกิโลกรัม พบว่าระดับของการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นที่ 30 45 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 28.22 27.16 26.38 และ 25.63 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งพบว่าในระดับการทดแทนที่เพิ่มสูงขึ้นในอาหารปลาสวายโมง มีผลทำให้ต้นทุนค่าอาหารต่อกิโลกรัมมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารสูตรทางการค้า (27.50 บาทต่อกิโลกรัม) และเมื่อพิจารณาต้นทุนค่าอาหารต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ พบว่าการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นที่ระดับ 45 เปอร์เซ็นต์มีราคาถูกที่สุด (65.20 บาทต่อกิโลกรัม) เมื่อ

เปรียบเทียบกับกับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นที่ระดับ 30 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่มีต้นทุนค่าอาหารต่ออัตราการแลกเนื้อเท่ากับ 73.36 68.58 และ 66.64 บาท ตามลำดับ ซึ่งจากผลทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นที่ระดับ 45 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในอาหารปลาสวายโมง โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลา และมีต้นทุนค่าอาหารถูกเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารสูตรอื่น ๆ

จากการศึกษาผลของการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อค่าโลหิตวิทยา พบว่าการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงไม่มีผลต่อค่าฮีโมโกลบิน (Hb) เม็ดเลือดแดงอัดแน่น (Hct) จำนวนเม็ดเลือดแดง (RBC) จำนวนเม็ดเลือดขาว (WBC) Thrombocyte Lymphocyte MCV และ MCH ($P>0.05$; ดังตารางที่ 4.2) ซึ่งผลของการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงในระดับที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้ค่า MCH Hb WBC และ Lymphocyte มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง (linear) ($P<0.05$) และจากผลการศึกษาค่าชีวเคมีของโลหิตวิทยาของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ พบว่า Glucose และ Cholesterol ในพลาสมาของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารทรีทเมนต์ต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$; ดังตารางที่ 4.2) และในพลาสมาของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) พบว่ามีค่า Blood Urea Nitrogen (BUN) ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์อื่น ๆ ($P<0.05$) โดยการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงในระดับที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่า BUN มีแนวโน้มแบบโค้งกำลังสอง (Quadratic) ($P<0.05$) และปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหาร มีผลทำให้ค่าโปรตีนในพลาสมาสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม ($P<0.05$) นอกจากนี้การศึกษาผลของการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน อันได้แก่ Alternative complement activity (ACH50) Lysozyme activity และ Total immunoglobulin (Total Ig) พบว่าการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันมีค่าสูงขึ้นเมื่อได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ในอาหารเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ดังภาพที่ 4.1a ; $P<0.05$) และพบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) มีค่า Lysozyme activity และ Total Ig ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์อื่น ๆ ($P<0.05$; ภาพที่ 4.1b และ 4.1c) ซึ่งแนวโน้มของการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในระดับที่เพิ่มสูงขึ้นจะมีผลทำให้ค่าการ ACH50 และ Lysozyme เพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง (linear) ($P>0.05$)

ตารางที่ 4.1 สมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นระดับต่าง ๆ (30, 45, 60, และ 75 เปอร์เซ็นต์) ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 9 เดือน (n=36)

Parameter	Diet					
	CA	CB	D30	D45	D60	D75
Initial Weight (g)	36.43±0.09	36.43±0.13	36.45±0.24	36.27±0.24	36.34±0.26	36.20±0.14
Final Weight (g)	456.38±8.60^{d}	507.08±4.64^{c}	535.32±4.77^{b}	598.31±3.86^{a}	531.96±16.11^{bc}	523.24±5.54^{bc}
Weight gain (g)	419.96±8.52^{d}	470.65±4.67^{c}	498.87±4.90^{b}	562.04±3.91^{a}	495.62±16.16^{bc}	487.04±5.62^{bc}
SGR (%/day)	1.04±0.01^{d}	1.09±0.00^{c}	1.11±0.00^{b}	1.16±0.01^{a}	1.11±0.01^{bc}	1.10±0.00^{bc}
DGR (g/day)	1.74±0.04^{d}	1.95±0.02^{c}	2.06±0.02^{b}	2.32±0.01^{a}	2.05±0.07^{bc}	2.01±0.02^{bc}
FCR	2.63±0.12	2.67±0.09	2.60±0.00	2.40±0.06	2.60±0.06	2.60±0.06
Feed intake (g/g/day)	4.55±0.15^{b}	5.21±0.21^{a}	5.32±0.04^{a}	5.57±0.12^{a}	5.34±0.22^{a}	5.20±0.05^{a}
FE (%)	38.23±1.54	37.41±1.43	38.76±0.15	41.78±0.79	38.40±0.98	38.88±0.49
PER	1.19±0.05	1.17±0.04	1.20±0.01	1.29±0.23	1.20±0.03	1.21±0.02
HSI (%)	1.14±0.05	1.16±0.06	1.16±0.12	1.17±0.10	1.16±0.05	1.15±0.04
Survival rate (%)	94.00±0.00^{ab}	69.00±3.46^{c}	83.33±2.33^{b}	96.00±2.00^{a}	94.00±3.46^{ab}	91.67±5.61^{ab}

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

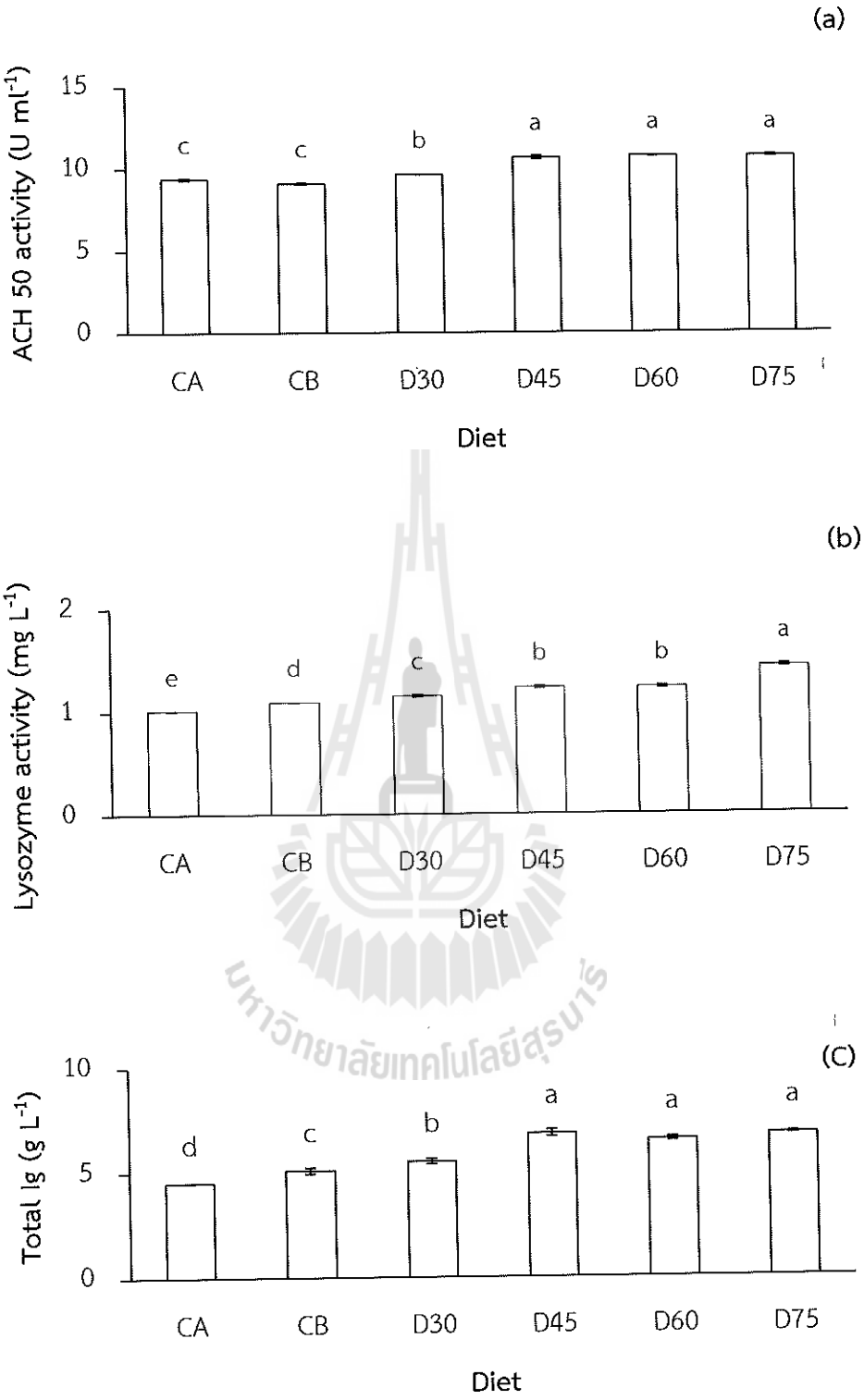
SGR (Specific growth rate); DGR (Daily growth rate); FCR (feed conversion ratio); FE (Feed efficiency); PER (Protein efficiency ratio); HSI (Hepatosomatic Index); CA (อาหารเม็ดสูตรทางการค้า); CB (อาหารที่ผลิตขึ้นเองที่ไม่ใช้ Brewer's yeast); D30 (ทดแทนด้วย Brewer's yeast 30%); D45 (ทดแทนด้วย Brewer's yeast 45%); D60 (ทดแทนด้วย Brewer's yeast 60%); D75 (ทดแทนด้วย Brewer's yeast 75%)

ตารางที่ 4.2 ค่าโลหิตวิทยาและค่าชีวเคมีของโลหิตของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ (30, 45, 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์) ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 9 เดือน (n=9)

Parameter	Diet					
	CA	CB	D30	D45	D60	D75
WBC (10^9/L)	5.50±0.00	7.50±1.00	7.50±1.00	7.50±1.00	8.50±0.00	8.50±0.00
RBC (10^{12}/L)	1.89±0.02	1.91±0.08	1.92±0.01	2.02±0.11	2.00±0.02	2.07±0.13
MCV (fL)	254.63±1.91	257.87±16.61	256.10±6.04	246.40±13.14	244.93±5.54	241.63±13.74
MCH (pg/cell)	90.20±0.96	91.17±5.39	90.63±1.99	84.90±4.34	81.57±1.30	79.60±5.83
MCHC (g/L)	354.27±4.27^{a}	353.83±4.30^{a}	353.83±4.30^{a}	344.60±2.30^{ab}	333.40±7.77^{b}	328.83±5.89^{b}
Haemoglobin (g/L)	170.00±0.00	173.33±3.33	173.33±3.33	170.00±0.00	163.33±3.33	163.33 ±3.33
Haematocrit (%)	48.00±0.58	49.00±1.15	49.00±1.15	49.33±0.33	49.00±0.58	49.67±0.33
Lymphocyte (%)	91.67±0.33	91.00±2.65	94.67±1.76	95.00±1.73	97.00±1.53	97.67±1.76
Thrombocyte (10^9/L)	27.33±1.33	28.33±0.88	29.33±0.33	30.00±0.58	30.33±0.67	31.00±0.58
Glucose (mmol/L)	4.52±0.09	4.53±0.02	4.51±0.10	4.57±0.27	4.64±0.08	4.83±0.06
Cholesterol (mmol/L)	0.37±0.01	0.37±0.01	0.37±0.01	0.38±0.01	0.39±0.02	0.39±0.05
BUN (mmol/L)	0.32±0.01^{c}	0.35±0.00^{ab}	0.35±0.00^{a}	0.35±0.00^{a}	0.35±0.00^{ab}	0.34±0.00^{b}
Plasma protein (g/L)	21.27±0.02^{d}	21.71±0.05^{c}	22.36±0.09^{b}	22.50±0.03^{ab}	22.55±0.07^{a}	22.66±0.06^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถว หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

WBC (White blood cell count); RBC (Red blood cell count); MCV (Mean corpuscular volume); MCH (Mean corpuscular heamoglobin); MCHC (Mean corpuscular haemoglobin concentration); BUN (Blood urea nitrogen)



ภาพที่ 4.1 ผลของการใช้ Brewer's yeast เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกัน ได้แก่ Alternative complement activity (a) lysozyme activity (b) และ total Immunoglobulin (c) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนแท่งกราฟ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากผลการศึกษาผลของการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา พบว่าอาหารที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัว (P>0.05 ; ดังตารางที่ 4.3) โดยองค์ประกอบทางเคมีของปลาสวายโมงทั้งตัว อันได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า มีค่าอยู่ในช่วง 604.17-615.30 300.36-317.37 211.04-215.19 และ 47.69-76.87 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา พบว่าเนื้อของปลาที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารที่ระดับ 30 45 และ 60 เปอร์เซ็นต์ มีค่าระดับโปรตีนในเนื้อสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) (P<0.05 ; ดังตารางที่ 4.4) ซึ่งแนวโน้มของการใช้ Brewer's yeast ในระดับที่เพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลทำให้ค่าโปรตีนในเนื้อเป็นแบบโค้งกำลังสาม (Cubic) (P<0.05) ในขณะที่ความชื้น ไขมัน และ เถ้า ของปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกทรีทเมนต์นั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) นอกจากนี้จากการศึกษาผลของการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารต่อค่าสีเนื้อของปลาสวายโมงสด พบว่าการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงที่ระดับต่าง ๆ ไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (Lightness; L*-value) ของเนื้อปลาสวายโมงสด (P>0.05 ; ดังตารางที่ 4.5) แต่สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) พบว่ามีผลทำให้ค่าสีแดง (Redness ; a*-value) และค่าสีเหลือง (Yellow ; b*-value) สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ผลิตขึ้นเองไม่มีการใช้ Brewer's yeast (CB) และมีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ มีผลทำให้ค่าความขาว (Whiteness) ของเนื้อปลาสดสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05 ; ดังตารางที่ 4.5) และจากการศึกษาผลของการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษา (Drip loss) เป็นระยะเวลา 3 เดือน และหลังการทำให้สุก (Cook loss) พบว่าอาหารทดลองที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาและหลังการทำให้สุก (P>0.05 ; ดังตารางที่ 4.6) โดยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาอยู่ในช่วง 9.60-9.71 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหลังการทำให้สุกอยู่ในช่วง 8.71-8.78 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเนื้อปลาปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยค่า pH ของเนื้อปลามีค่าอยู่ในช่วง 6.70-6.82 และสำหรับการศึกษาผลของการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาต่อลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นที่ระดับ 45 เปอร์เซ็นต์ มีค่า breaking force สูงที่สุด (256.73 g) และแตกต่างจากทรีทเมนต์อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05 ; ดังตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัวที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ (30, 45, 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์) หลังการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 9 เดือน

Diet	ความชื้น (g/kg)	โปรตีน (g/kg)	ไขมัน (g/kg)	เถ้า (g/kg)
CA	614.22±6.91	317.37±6.29	212.42±0.80	76.87±9.63
CB	604.17±1.67	301.40±4.70	212.13±0.60	47.69±2.02
D30	604.88±4.90	301.59±3.15	211.04±0.73	58.80±5.24
D45	615.30±4.99	309.69±9.37	214.94±1.65	67.16±9.28
D60	606.98±4.55	316.21±8.26	215.19±1.95	55.50±3.56
D75	605.26±1.76	300.36±5.57	212.97±0.26	60.60±5.99

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

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ (30, 45, 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์) หลังการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 9 เดือน

Diet	ความชื้น (g/kg)	โปรตีน (g/kg)	ไขมัน (g/kg)	เถ้า (g/kg)
CA	831.3±5.44	135.8±1.10^{c}	13.0±0.37	15.2±0.23
CB	818.3±8.74	152.4±0.37^{b}	13.7±0.66	15.4±0.17
D30	811.1±2.04	155.4±1.80^{ab}	13.1±0.30	15.6±0.36
D45	813.9±11.66	155.5±1.72^{ab}	13.5±0.26	15.8±0.15
D60	812.6±7.46	158.0±1.22^{a}	13.4±0.27	15.6±0.19
D75	808.8±9.48	155.0±0.56^{ab}	13.9±0.09	15.7±0.23

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

ตารางที่ 4.5 ผลการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงที่ระดับต่าง ๆ (30, 45, 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์) ต่อค่าสี และความขาวของเนื้อปลาสวายโมงสด (Fillet color and Whiteness)

Diet	Lightness (L*-value)	Redness (a*-value)	Yellowness (b*-value)	Whiteness
CA	49.28±0.36	-0.59±0.15^{a}	5.00±0.26^{a}	48.99±0.37^{b}
CB	50.35±0.32	-1.63±0.15^{b}	1.31±0.18^{b}	50.28±0.32^{a}
D30	50.21±0.03	-1.42±0.13^{b}	1.36±0.18^{b}	50.14±0.03^{a}
D45	50.06±0.36	-1.61±0.09^{b}	1.31±0.18^{b}	49.99±0.11^{a}
D60	50.06±0.11	-2.17±0.09^{c}	1.24±0.20^{b}	49.97±0.11^{a}
D75	50.02±0.30	-2.07±0.86^{c}	0.96±0.14^{b}	49.94±0.31^{a}

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

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาและการทำให้สุก ลักษณะเนื้อสัมผัส และความเป็นกรด-ด่างของเนื้อปลาสวายโมงที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ (30, 45, 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์)

Diet	Drip loss (%)	Cook loss (%)	Breaking force (g)	pH
CA	9.61±0.22	8.71±0.33	175.65±10.89^{b}	6.79±0.09
CB	9.60±0.14	8.76±0.40	211.64±23.25^{b}	6.77±0.06
D30	9.71±0.10	8.75±0.07	176.25±9.57^{b}	6.70±0.01
D45	9.69±0.19	8.77±0.36	256.73±22.31^{a}	6.78±0.05
D60	9.64±0.01	8.78±0.27	172.80±6.78^{b}	6.79±0.05
D75	9.64±0.20	8.75±0.08	194.31±9.02^{b}	6.82±0.06

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

4.2 ผลของการใช้กากสาโท (rice wine residual) เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง

จากการศึกษาการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงที่ระดับต่างกัน คือ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ และมีอาหารกลุ่มควบคุม 2 กลุ่ม ได้แก่ อาหารสูตรทางการค้า (CA) และอาหารสูตรที่ผลิตขึ้นเองที่ไม่มีการใช้กากสาโท (CB) ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาสวายโมง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในน้ำหนักสุดท้าย (Final weight) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (DGR) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) ระหว่างปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ (D30) และอาหารที่ผลิตขึ้นเองที่ไม่มีการใช้กากสาโท (CB) ($P>0.05$; ดังตารางที่ 4.7) อย่างไรก็ตามปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ มีสมรรถนะการเจริญเติบโตสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) ในขณะที่การทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับเพิ่มสูงขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ (D40) พบว่า มีสมรรถนะการเจริญเติบโตต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับทรีทเมนต์อื่นๆ ($P<0.05$; ดังตารางที่ 4.7) ซึ่งผลของการวิเคราะห์แนวโน้มของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต (Final weight, Weight gain, DGR และ SGR) เป็นแบบโค้งกำลังสี่ (Quartic) ($P<0.05$) ปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ต่ำกว่าสูตรอาหารทางการค้า (CA) และสูตรอาหารที่ผลิตขึ้นเองที่ไม่ใช้กากสาโท (CB) ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับเพิ่มขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามี FCR สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่นๆ ($P<0.05$) สอดคล้องกับปริมาณการกินได้ (Feed intake) ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (FE) และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) ของปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับเพิ่มสูงขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับทรีทเมนต์อื่นๆ ($P<0.05$) ซึ่งผลของการวิเคราะห์แนวโน้มของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร (FCR, Feed intake, FE และ PER) เป็นแบบโค้งกำลังสาม (Cubic) ($P<0.05$) และหลังสิ้นสุดการทดลองเลี้ยงปลาสวายโมงเป็นระยะเวลา 10 เดือน พบว่า การทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทไม่มีผลต่อค่าดัชนีตับ (HSI) และอัตราการรอดในปลาสวายโมง ($P>0.05$; ดังตารางที่ 4.7)

จากการศึกษาการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อค่าโลหิตวิทยาและชีวเคมีในโลหิต พบว่า การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงไม่มีผลต่อจำนวนเม็ดเลือดแดง (RBC) MCV MCH MCHC จำนวนเม็ดเลือดขาว (WBC) Thrombocyte Lymphocyte ฮีโมโกลบิน (Hb) เม็ดเลือดแดงอัดแน่น (Hct) Glucose Blood Urea Nitrogen (BUN) และ plasma protein ($P>0.05$; ดังตารางที่ 4.8) ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับ 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีค่า cholesterol ในพลาสมาต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่นๆ ($P<0.05$) ซึ่งผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหาร

ปลาสวายโมงในระดับที่เพิ่มสูงขึ้นนั้น มีผลทำให้ค่า cholesterol ในพลาสมามีแนวโน้มลดลงแบบเส้นตรง (linear) ($P<0.05$) นอกจากนี้การศึกษาการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน พบว่า ไม่ส่งผลกระทบต่อ Alternative complement activity (ACH50), Lysozyme activity และ Total immunoglobulin (Total Ig) ของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารในทุกทรีทเมนต์ ($P>0.05$; ดังภาพที่ 4.2)

การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ พบว่า สามารถใช้กากสาโททดแทนปลาป่นได้ถึงระดับที่ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อความสูงของวิลไลในลำไส้ส่วน Duodenum Jejunum และ Ileum ของปลาสวายโมงเมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารที่ผลิตขึ้นเองที่ไม่ใช้กากสาโท (CB) ($P>0.05$; ดังภาพที่ 4.3a) ปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีความสูงของวิลไลสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) และปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$; ดังภาพที่ 4.3a) ซึ่งการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในในระดับที่เพิ่มสูงขึ้นนั้น มีผลทำให้ความสูงของวิลไลในลำไส้ส่วน Duodenum Jejunum และ Ileum มีแนวโน้มเป็นแบบโค้งกำลังสอง (Quadratic) ($P<0.05$) การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง พบว่าไม่มีผลกระทบต่อจำนวนของ goblet cell ในลำไส้ส่วน Duodenum Jejunum และ Ileum ของปลาสวายโมง ($P>0.05$; ดังภาพที่ 4.3b)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.7 สมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่ใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในระดับต่างๆ (10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 10 เดือน (n=36)

Parameter	Diet					
	CA	CB	D10	D20	D30	D40
Initial Weight (g)	218.43±2.89	218.70±2.76	221.12±2.77	220.64±3.08	222.74±3.04	220.62±2.93
Final Weight (g)	1,558.30±18.85^{b}	1,736.70±17.37^{a}	1,695.80±24.08^{a}	1,725.60±13.70^{a}	1,703.90±19.36^{a}	1,369.40±15.68^{c}
Weight gain (g)	1,343.40±14.45^{b}	1,521.12±14.01^{a}	1,478.00±20.42^{a}	1,508.50±9.60^{a}	1,484.70±14.77^{a}	1,152.30±10.94^{c}
DGR[1] (g/day)	4.16±0.04^{b}	4.71±0.04^{a}	4.58±0.06^{a}	4.67±0.03^{a}	4.60±0.05^{a}	3.57±0.03^{c}
SGR[2] (%/day)	0.62±0.00^{b}	0.65±0.01^{a}	0.64±0.00^{a}	0.65±0.01^{a}	0.64±0.00^{a}	0.57±0.00^{c}
FCR[3]	2.17±0.03^{bc}	2.18±0.01^{b}	2.10±0.03^{cd}	2.06±0.01^{d}	2.08±0.02^{d}	2.39±0.04^{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[4] (%)	46.42±0.57^{b}	46.03±0.31^{b}	47.93±0.60^{a}	48.60±0.32^{a}	48.25±0.53^{a}	42.28±0.70^{c}
PER[5]	1.45±0.02^{b}	1.45±0.01^{b}	1.51±0.02^{a}	1.52±0.01^{a}	1.51±0.02^{a}	1.32±0.02^{c}
HSI[6] (%)	1.44±0.09	1.34±0.11	1.25±0.07	1.39±0.04	1.44±0.09	1.35±0.08
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 ($P<0.05$)

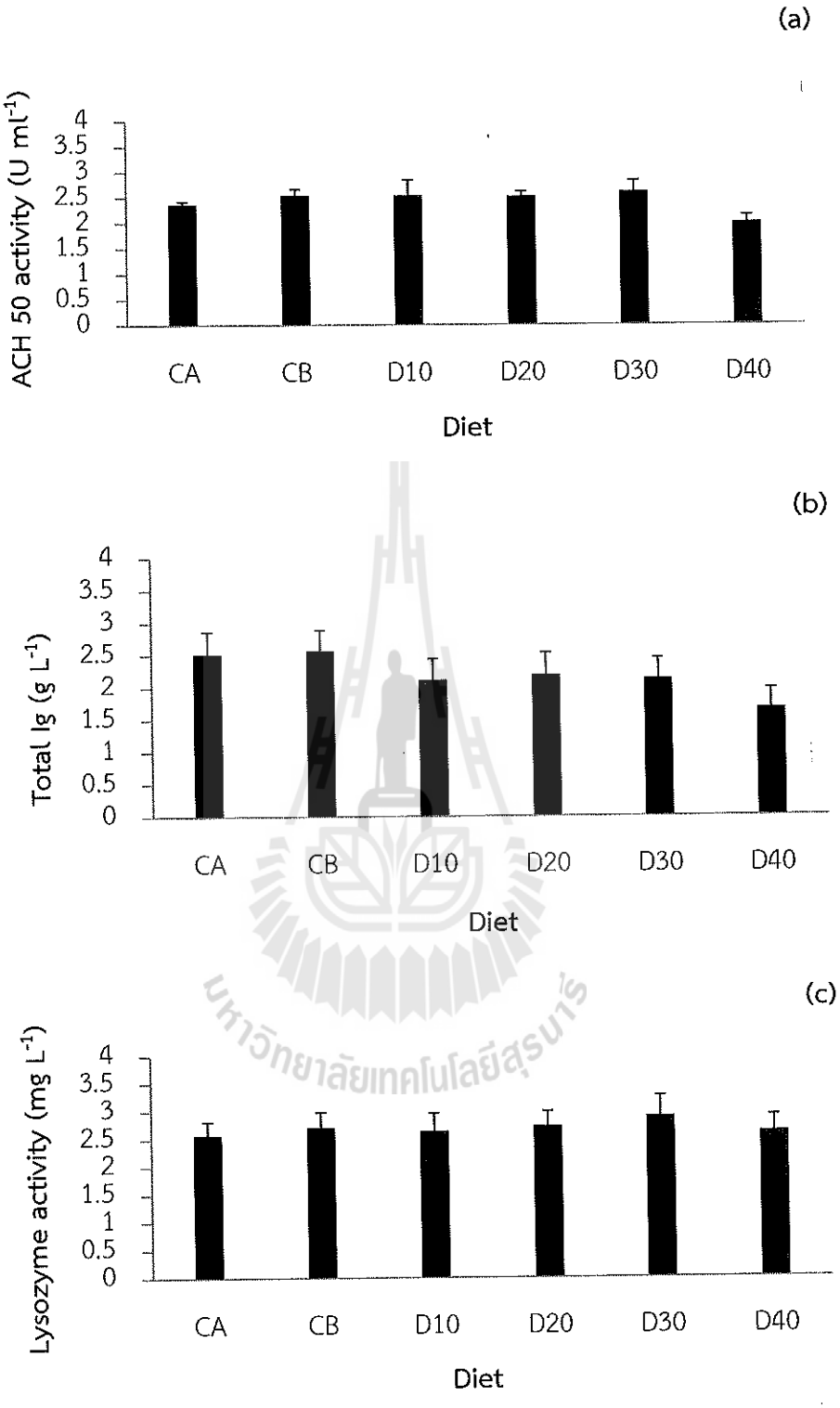
[1]DGR (Daily growth rate); [2]SGR (Specific growth rate); [3]FCR (feed conversion ratio); [4]FE (Feed efficiency); [5]PER (Protein efficiency ratio); [6]HSI (Hepatosomatic Index) CA (อาหารเม็ดสำเร็จรูปสูตรทางการค้า); CB (อาหารที่ผลิตขึ้นเองที่ไม่ใช้กากสาโท); D10 (ทดแทนด้วยกากสาโท 10%); D20 (ทดแทนด้วยกากสาโท 20%); D30 (ทดแทนด้วยกากสาโท 30%); D40 (ทดแทนด้วยกากสาโท 40%)

ตารางที่ 4.8 ค่าโลหิตวิทยาและค่าชีวเคมีของโลหิตของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ (10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 10 เดือน (n=9)

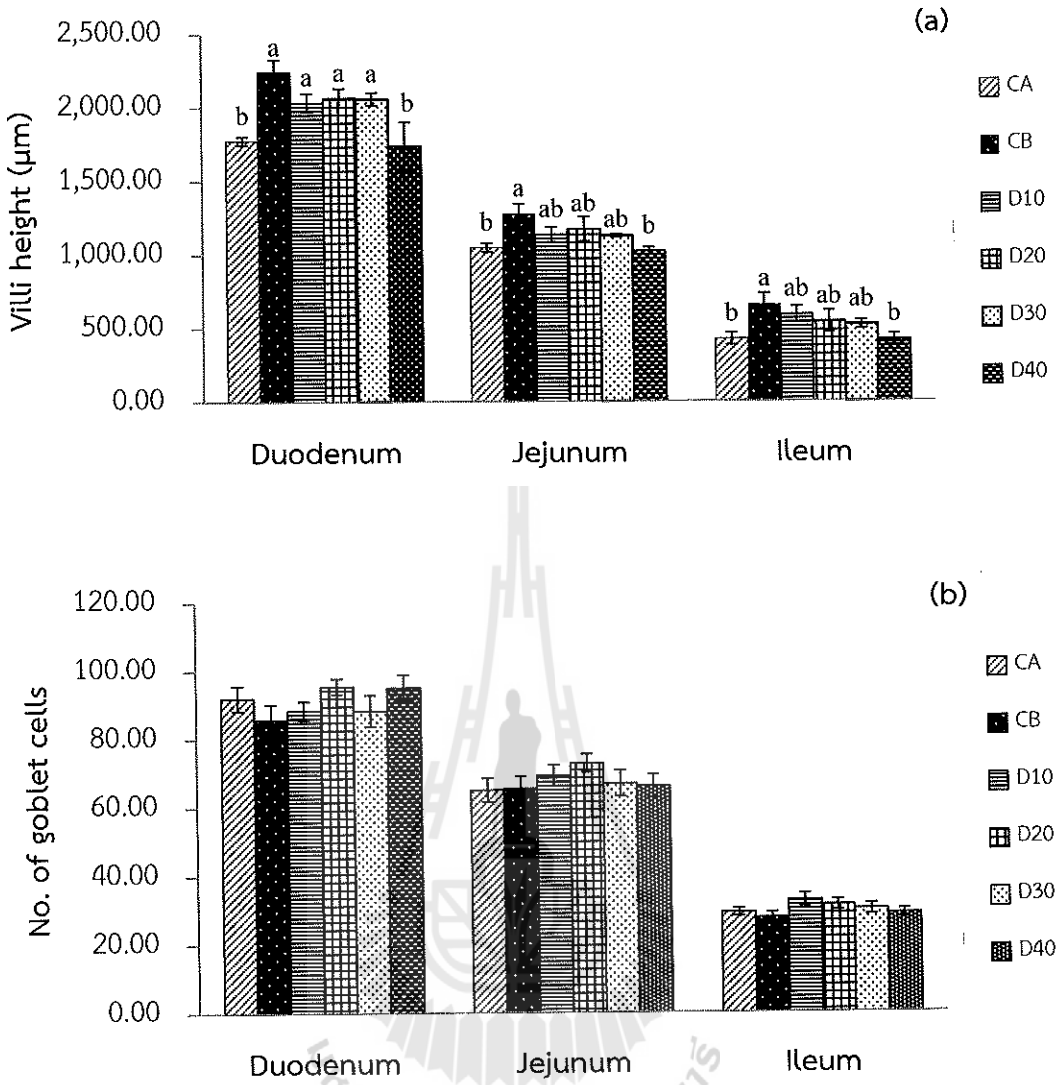
Parameter	Diet					
	CA	CB	D10	D20	D30	D40
WBC (10^9 L^{-1})	9.87±0.09	10.40±0.40	10.57±0.32	11.35±0.46	11.15±0.48	11.50±0.50
RBC (10^{12} L^{-1})	1.19±0.01	1.18±0.01	1.19±0.00	1.19±0.00	1.19±0.01	1.18±0.01
MCV (fL)	342.29±1.75	345.24±1.15	342.61±3.69	337.75±0.31	340.59±1.43	343.03±0.56
MCH (pg $cell^{-1}$)	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^{-1})	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^{-1})	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±0.75	40.70±0.83	40.81±0.89	40.30±0.80	40.67±0.65	40.44±0.40
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^{-1})	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^{-1})	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^{-1})	$0.41±0.00^b$	$0.49±0.00^a$	$0.39±0.02^b$	$0.34±0.02^c$	$0.32±0.00^c$	$0.31±0.01^c$
BUN (mmol L^{-1})	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^{-1})	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 ($P<0.05$)

WBC (White blood cell count); RBC (Red blood cell count); MCV (Mean corpuscular volume); MCH (Mean corpuscular heamoglobin); MCHC (Mean corpuscular haemoglobin concentration); BUN (Blood urea nitrogen)



ภาพที่ 4.2 ผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกัน ได้แก่ Alternative complement activity (a) total Immunoglobulin (b) และ lysozyme activity (c) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนแท่งกราฟ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)



ภาพที่ 4.3 ผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อความสูงของวิลไล (a) และจำนวน goblet cell (b) ในส่วนของลำไส้เล็กของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 10 เดือน ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนแท่งกราฟ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาและเนื้อปลาพบว่า อาหารที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาและเนื้อปลา (P>0.05; ดังตารางที่ 4.9 และ 4.10) และการศึกษาผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อค่าสีเนื้อสดของปลาสวายโมง พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ผลิตขึ้นเองที่ไม่ใช้กากสาโท (CB) และการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับต่างๆ มีผลทำให้ค่าความสว่าง (Lightness; L*-value) และค่าความขาว (Whiteness) ของเนื้อปลาสดสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) (P<0.05 ; ดังตารางที่ 4.11) ซึ่งการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงในระดับที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความสว่าง (Lightness; L*-value) ของเนื้อปลาสดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง (Linear) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความขาว (Whiteness) ของเนื้อปลาสวายโมงสดมีแนวโน้มเป็นแบบโค้งกำลังสาม (Cubic) (P<0.05) ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) มีผลทำให้ค่าสีแดง (Redness ; a*-value) และค่าสีเหลือง (Yellow ; b*-value) สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์อื่นๆ (P<0.05; ดังตารางที่ 4.11) ซึ่งการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในระดับที่เพิ่มสูงขึ้นนั้น มีผลทำให้ค่าสีแดง (Redness ; a*-value) ของเนื้อปลาสดมีแนวโน้มเป็นแบบโค้งกำลังสอง (Quadratic) และค่าสีเหลือง (Yellow ; b*-value) ของเนื้อปลาสวายโมงสดมีแนวโน้มเป็นแบบโค้งกำลังสี่ (Quartic) (P<0.05) การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษา หลังการทำให้สุก และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของเนื้อปลา (P>0.05; ดังตารางที่ 4.12) และการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารต่อลักษณะเนื้อสัมผัส (breaking force) พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่า breaking force สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (P<0.05) แต่ไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่ผลิตขึ้นเองที่ไม่ใช้กากสาโท (P>0.05; ดังตารางที่ 4.12) ซึ่งผลของการวิเคราะห์แนวโน้มของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อค่า breaking force มีแนวโน้มเป็นแบบโค้งกำลังสอง (Quadratic) (P<0.05)

ตารางที่ 4.9 องค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัวที่ได้รับอาหารที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับต่างๆ (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±2.82	368.44±7.58	212.35±1.51	59.60±0.20
CB	648.22±3.28	365.66±5.70	216.30±1.29	58.75±0.34
D10	644.91±3.76	362.81±7.41	215.39±0.96	58.78±0.14
D20	645.93±1.21	370.89±5.73	216.53±1.36	60.01±0.33
D30	644.18±2.08	367.45±5.01	214.97±1.48	59.48±0.39
D40	649.08±1.99	367.48±6.10	217.42±1.36	59.36±0.46

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

ตารางที่ 4.10 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาที่ได้รับอาหารที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับต่างๆ (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±4.64	122.24±0.92	15.25±0.31	12.61±0.37
CB	722.84±4.04	122.93±0.97	15.66±0.27	12.27±0.17
D10	720.48±5.70	123.28±0.80	15.81±0.36	12.13±0.39
D20	718.88±5.24	124.31±0.62	15.58±0.40	12.98±0.39
D30	722.62±4.08	122.93±1.07	15.51±0.37	12.80±0.22
D40	724.97±4.18	121.19±0.77	15.87±0.31	12.68±0.16

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

ตารางที่ 4.11 ผลการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงที่ระดับต่าง ๆ (10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) ต่อค่าสี และความขาวของเนื้อปลาสวายโมงสด (Fillet color and Whiteness)

Diet	Lightness (L*-value)	Redness (a*-value)	Yellowness (b*-value)	Whiteness
CA	51.03±0.74^{b}	-1.18±0.38^{a}	7.19±0.55^{a}	45.02±1.42^{b}
CB	53.43±0.56^{a}	-2.25±0.10^{b}	2.67±0.23^{b}	53.00±0.59^{a}
D10	53.56±0.37^{a}	-2.11±0.13^{b}	2.54±0.20^{b}	53.13±0.47^{a}
D20	53.68±0.31^{a}	-2.35±0.16^{b}	2.23±0.20^{b}	53.80±0.5^{a}
D30	54.10±0.64^{a}	-2.30±0.13^{b}	2.16±0.23^{b}	54.24±0.82^{a}
D40	54.20±0.80^{a}	-2.17±0.10^{b}	2.10±0.22^{b}	54.28±0.94^{a}

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

ตารางที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาและการทำให้สุก ลักษณะเนื้อสัมผัส และความเป็นกรด-ด่างของเนื้อปลาสวายโมงที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ (10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์)

Diet	Drip loss (%)	Cook loss (%)	Breaking force (g)	pH
CA	3.40±0.28	4.39±0.86	446.23±16.46^{b}	6.70±0.03
CB	3.90±0.49	3.85±0.17	529.78±20.45^{a}	6.73±0.03
D10	3.45±0.43	3.80±0.56	504.42±12.99^{a}	6.71±0.05
D20	3.72±0.26	5.34±0.27	521.63±14.56^{a}	6.71±0.02
D30	3.89±0.44	4.65±0.27	525.97±7.96^{a}	6.73±0.03
D40	4.55±0.42	5.24±0.38	485.10±16.55^{ab}	6.69±0.02

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

บทที่ 5
วิจารณ์ผล สรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 ผลของการใช้กากยีสต์แห้ง (Brewer's yeast) เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง

จากการศึกษาการใช้ Brewer's yeast เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นที่ระดับต่างกัน 4 ระดับ (30, 45, 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์) และมีอาหารกลุ่มควบคุม 2 กลุ่ม ได้แก่ อาหารสูตรทางการค้า (CA) และอาหารที่ผลิตขึ้นเองโดยไม่มีการใช้ Brewer's yeast (CB) ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาสวายโมง พบว่าการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงที่ระดับ 45 เปอร์เซ็นต์ (D45) มีผลทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตของปลาสวายโมงดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์อื่นๆ ($P<0.05$) และการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาสวายโมง ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่ Brewer's yeast ประกอบไปด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็น อุดมไปด้วยฟอสฟอรัส และวิตามินบี ดังนั้นการใช้ Brewer's yeast ในระดับที่เหมาะสมจึงอาจช่วยปรับปรุงสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาสวายโมงได้ สอดคล้องกับการรายงานที่ผ่านมาพบว่าสามารถใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นได้ถึงระดับ 25-50 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารปลา Sea bass (Oliva-Teles and Gonçalves, 2001) ปลาช่อนทะเล (Luger et al., 2006) ปลานิล (Zerai et al., 2008) และปลาจาระเม็ดน้ำจืด (Ozório et al., 2010) โดยไม่มีผลกระทบทางลบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลา และจากผลการศึกษาพบว่าปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) มีสมรรถนะการเจริญเติบโตต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากอาหารที่ปลาได้รับมีความน่ากินลดลง สังเกตได้จากอาหารที่เหลือภายในกระชังหลังการให้อาหาร จึงส่งผลทำให้ Feed intake ของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้ามีค่าลดลง ในทางกลับกันเมื่อมีการใช้ Brewer's yeast เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารในระดับที่เหมาะสม พบว่ามีผลทำให้ Feed intake เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากใน Brewer's yeast มีนิวคลีโอไทด์จำพวก active nucleotide (5'-IMP และ 5'-GMP) และกรดอะมิโนอิสระ เช่น glutamic หรือ glutamate ที่มีความสามารถในการกระตุ้นการกินอาหารของปลา (Li et al., 2010) สอดคล้องกับการรายงานเกี่ยวกับการใช้ยีสต์ในอาหารปลานิล (Pereira-da-Silva and Pezzato, 2000) ปลา Turbot (Founier et al., 2003) และปลาจาระเม็ดน้ำจืด (Ozório et al., 2010) ที่พบว่ามีผลทำให้ความน่ากินของอาหารเพิ่มสูงขึ้น และการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงในระดับที่เพิ่มสูงขึ้น (60 และ 75 เปอร์เซ็นต์) มีผลทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตของปลาลดลง ทั้งนี้อาจเกิดจากการขาดกรดอะมิโนจำพวกเมทไธโอนีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่มีความสำคัญในการเจริญเติบโตของปลา ซึ่งหากมีการใช้ Brewer's yeast เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในระดับสูง อาจเป็นสาเหตุทำให้ปลามีการเจริญเติบโตลดลง สอดคล้องกับการรายงานในปลา

Janpanese flounder (Kikushi et al., 1993) ปลาช่อนทะเล (Lunger et al., 2006) และปลากดอเมริกัน (Peterson et al., 2012) กล่าวว่าการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาดังกล่าวในระดับที่เพิ่มสูงขึ้น มีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลง และจากการรายงานของ Murray and Marchant (1986) พบว่า การเสริมเมทไธโอนีนร่วมกับการใช้ยีสต์ลงในอาหารปลาจะส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของปลามีค่าเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้การใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง ไม่มีผลต่อค่าดัชนีตับ นั่นหมายถึง Brewer's yeast ที่ทดแทนลงในอาหาร ไม่มีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมที่ใช้ในการดูดซึมสารอาหารของตับ และพบว่าการให้อาหารที่ผลิตขึ้นเองโดยไม่มีการใช้ Brewer's yeast (CB) มีผลทำให้อัตราการรอดของปลาสวายโมงต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์อื่นๆ ทั้งนี้อาจเกิดจากอาหารดังกล่าวมีสารกระตุ้นภูมิคุ้มกันลดลง (Immunostimulant) สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมากล่าวว่าการเสริมยีสต์ (*S. cerevisiae*) ในอาหารปลา มีผลทำให้ปลาปกติและปลาที่เป็นโรคมีอัตราการรอดเพิ่มสูงขึ้น (Mohanty et al., 1996; Li and Gatlin, 2003; Abdel-Tawwab et al., 2008) สำหรับผลของการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อต้นทุนค่าอาหาร พบว่าการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารที่ระดับเพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้ต้นทุนค่าอาหารลดต่ำลง เนื่องจาก Brewer's yeast มีราคาถูกกว่าปลาป่นประมาณ 3 เท่า (Brewer's yeast ราคา 9.30 บาท และ ปลาป่นราคา 30.20 บาท) อย่างไรก็ตามเมื่อทำการพิจารณาต้นทุนค่าอาหารต่ออัตราการแลกเนื้อของปลาสวายโมง พบว่าการใช้ Brewer's yeast ในระดับที่เพิ่มสูงขึ้น (60 และ 75 เปอร์เซ็นต์) ในอาหารปลาสวายโมง ไม่ได้ทำให้ต้นทุนค่าอาหารต่ออัตราการแลกเนื้อลดลง เนื่องจากอัตราการแลกเนื้อของปลาสวายโมงดังกล่าวมีค่าสูงกว่าปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast 45 เปอร์เซ็นต์ จึงส่งผลทำให้การใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงที่ระดับ 45 เปอร์เซ็นต์ เป็นสูตรอาหารที่มีต้นทุนค่าอาหารต่ำที่สุด และมีสมรรถนะการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์อื่นๆ สอดคล้องกับการรายงานของ Ortuño et al. (2002) ที่กล่าวว่าประโยชน์ของการใช้ยีสต์ในอาหารปลา มีผลทำให้การเจริญเติบโตของปลาดีขึ้น และลดค่าใช้จ่ายในด้านของต้นทุนค่าอาหาร

การใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงไม่มีผลต่อค่าโลหิตวิทยาและชีวเคมีของโลหิต ซึ่งสอดคล้องกับ Hoseinifar et al. (2011a) และพบว่าจำนวนเม็ดเลือดขาว (WBC) และ lymphocyte ของปลาสวายโมงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่น แต่ไม่สูงเท่ากับกรณีของการที่ปลาติดเชื้อ สาเหตุที่ทำให้ WBC และ Lymphocyte มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เกิดจากเบต้า-กลูแคนที่อยู่ในผนังเซลล์ของ Brewer's yeast ไปกระตุ้นการสร้างเม็ดเลือดขาวให้มากขึ้นระดับหนึ่ง หากปลาได้รับเชื้อโรคจำนวนเม็ดเลือดขาวที่มีมากพอก็สามารถกำจัดโรคออกไปได้ซึ่ง WBC และ Lymphocyte ของปลาสวายโมงอยู่ในช่วง 5.50-8.50$\times10^9$/L และ 91.00-97.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งถือได้ว่าเป็นค่าปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับปลาบึกที่เป็นปลาในกลุ่ม *Pangasius* เช่นเดียวกัน ที่มี WBC และ Lymphocyte เท่ากับ 6.0-

33.0×10^9/L และ 59-93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (พิสุทธิ์ และคณะ 2533) อีกทั้ง WBC และ Lymphocyte ที่เพิ่มขึ้นจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงการมีสุขภาพที่ดีของปลาเมื่อได้รับอาหารดังกล่าว (Zhu et al., 2012) จากการศึกษาการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง พบว่าไม่มีผลต่อระดับกลูโคสในเลือด โดยอยู่ในช่วง 4.51-4.83 mmol/L ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่เป็นปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับระดับกลูโคสในเลือดปลาที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.14-19.43 mmol/L (Shakoori et al., 1996) แสดงให้เห็นว่า Brewer's yeast ที่ใช้ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงไม่มีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในปลาสวายโมง เช่นเดียวกับค่าคอเลสเตอรอลในพลาสมาของปลาสวายโมงที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหาร พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าการใช้ Brewer's yeast เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงไม่มีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของไขมัน สอดคล้องกับการรายงานของ Hoseinifar et al. (2011a) กล่าวว่าการเสริม Brewer's yeast ลงในอาหารปลา Beluga ไม่มีผลต่อระดับกลูโคสในเลือดและคอเลสเตอรอลในพลาสมาของปลา ซึ่งจากการศึกษาการใช้ Brewer's yeast เป็นวัตถุดิบโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง พบว่าค่า Blood urea nitrogen (BUN) ในพลาสมาของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast มีค่าสูงกว่าปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) ทั้งนี้อาจเกิดจากการสลายนิวคลีโอไทด์ที่มีอยู่ใน Brewer's yeast ซึ่งการสลายนิวคลีโอไทด์จะเป็นกระบวนการหนึ่งที่ทำให้เกิดยูเรีย จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ BUN มีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยค่า BUN ของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารทดลองอยู่ในช่วง 0.32-0.35 mmol/L ซึ่งถือว่าเป็นค่าปกติ สำหรับค่า BUN ในพลาสมาของปลาดุกแอฟริกันปกติมีค่าอยู่ในช่วง 0.3-3.4 mmol/L (Myburgh et al., 2008) สอดคล้องกับการรายงานของ Oliva-Teles et al. (2006) กล่าวว่าปลา Gilthead sea bream ที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่น มีผลทำให้ค่า BUN เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปลาป่น และการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงในระดับที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้ค่าระดับโปรตีนในพลาสมาของปลาสวายโมงเพิ่มสูงขึ้นด้วย แสดงให้เห็นว่าปลามีความสามารถในการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบสำคัญในพลาสมา ซึ่งส่วนใหญ่จะทำหน้าที่เป็นภูมิคุ้มกันโรคให้ร่างกาย รักษาสมดุลของแรงดันออสโมติกระหว่างเลือดที่ไหลเวียนกับช่องว่างในเนื้อเยื่อ ช่วยในการแข็งตัวของเลือด และสภาพทางสรีรวิทยา ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Abdel-Tawwab et al. (2008) กล่าวว่าการใช้ยีสต์ที่ระดับ 0.025-0.5 เปอร์เซ็นต์ในอาหารปลานิล มีผลทำให้ระดับโปรตีนในพลาสมาเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน ซึ่งจากการศึกษาผลของการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน อันได้แก่ ค่า Alternative complement activity (ACH50) Lysozyme activity และ Total Immunoglobulin (Ig) พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ในอาหารมีค่าการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันสูงกว่ากลุ่มควบคุม ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่ Brewer's yeast มีคุณสมบัติการเป็นสารกระตุ้น

ภูมิคุ้มกัน (Immunostimulant) ซึ่งสอดคล้องกับ Rumsey et al. (1992) ที่กล่าวว่าผนังเซลล์ของยีสต์ประกอบด้วยกลูแคน และไคติน โดยมีความสามารถในการเพิ่มการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ ได้แก่ ACH50 และ Lysozyme activity ในปลาดุกแอฟริกัน (Yoshida et al., 1995) ปลา Atlantic salmon (Engstad et al., 1992) และปลา Rainbow trout (Siwicki et al., 1994)

จากการศึกษาการใช้ Brewer's yeast เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา พบว่าไม่มีผลต่อความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าของปลาทั้งตัว โดยเฉพาะองค์ประกอบของโปรตีนในปลาทั้งตัว ที่ให้ผลสอดคล้องกับค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในอาหาร (PER) ของปลาสวายโมง ที่พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) แสดงให้เห็นว่า Brewer's yeast มีความสามารถในการนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงได้ เช่นเดียวกับการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลา Githead sea bream และปลาจาระเม็ดน้ำจืด พบว่าไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา (Oilva-Teles et al., 2006 ; Ozório et al., 2010) และการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา พบว่าการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นที่ระดับ 30 45 และ 60 เปอร์เซ็นต์ (D30 D45 และ D60) มีผลทำให้โปรตีนในเนื้อปลาสูงกว่าเนื้อปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่ปลาสวายโมงได้รับฟอสฟอรัสที่เป็นองค์ประกอบจึงส่งผลทำให้ฟอสฟอรัสในอาหารเพิ่มสูงขึ้น โดยฟอสฟอรัสที่อยู่ในอาหารปลา จะเป็นส่วนหนึ่งของ nucleic acid ซึ่งเป็นตัวส่งผ่านรหัสพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการสังเคราะห์โปรตีน ดังนั้นอาจส่งผลทำให้โปรตีนในเนื้อของปลาเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Rumsey et al. (1992) พบว่าปลา Rainbow trout ที่ได้รับ Brewer's yeast ในอาหารเพิ่มสูงขึ้น จะมีผลทำให้โปรตีนในเนื้อของปลาเพิ่มสูงขึ้นด้วย ในขณะที่ผลของการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงไม่มีผลต่อความชื้น ไขมัน และเถ้าในเนื้อของปลาสวายโมง นั่นหมายถึงปลาสวายโมงได้รับอาหารที่มีแร่ธาตุ และไขมันในสัดส่วนที่เพียงพอและเป็นไปตามความต้องการของปลา

ปลาสวายโมง เป็นปลาที่ได้รับการผสมพันธุ์ เพื่อให้มีลักษณะเด่นทางคุณภาพเนื้อ คือเป็นปลาเนื้อขาวจากการศึกษาผลของอาหารทดลองต่อสีของเนื้อปลา พบว่าปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) มีผลทำให้เนื้อปลามีค่าสีเหลือง (Yellowness ; b*-value) เพิ่มสูงขึ้น และมีค่าความขาว (Whiteness) ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์อื่น ๆ ($P<0.05$) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าอาหารสูตรทางการค้าไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการเลี้ยงปลาสวายโมง เพราะอาจจะมีผลทำให้ราคาเนื้อปลามีมูลค่าลดลงอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของสีเนื้อ โดยเนื้อปลาที่มีค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากการที่ปลาสวายโมงได้รับวัตถุดิบอาหารที่มีส่วนผสมของสารสีในข้าวโพด ซึ่งเม็ดสีจากวัตถุดิบอาหารที่ปลากินเข้าไปจะไปรวมเป็นเนื้อเดียวกับเนื้อและไขมันของปลา สอดคล้องกับการรายงานของ Brinker and Reiter (2011) กล่าวว่าการใช้โปรตีนจากพืชมีความเสี่ยงต่อการได้มาซึ่งสีที่ไม่พึงประสงค์ เช่น ลูทีน (lutein) ซีแซนทีน (zeaxanthin) แคโรทีนอยด์ (carotenoid) และไฮไดรอกซีแคโรทีนอยด์ (hydroxycarotenoid) เป็นต้น ซึ่งสารดังกล่าวจะมีผลทำให้เนื้อของปลามีสีเหลือง ในขณะที่การใช้

Brewer's yeast เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารปลาสวายโมงมีผลทำให้ค่าความขาว (Whiteness) ของเนื้อปลาสวายโมงสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) จึงสามารถกล่าวได้ว่า Brewer's yeast เป็นแหล่งโปรตีนที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงโดยไม่มีผลกระทบต่อค่าสีของเนื้อปลาสวายโมง

นอกจากนี้การศึกษาผลของการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง พบว่าไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษา (Drip loss) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหลังการทำให้สุก (Cook loss) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยค่า pH ของเนื้อปลาสวายโมงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาอยู่ในช่วง 6.70-6.82 แสดงให้เห็นว่า เนื้อปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารดังกล่าวถือเป็นเนื้อที่มีคุณภาพดีเนื่องจากค่า pH ของเนื้ออยู่ในช่วงที่เป็นกรดอ่อนที่เกิดจากการสลายตัวของไกลโคเจนในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน เหมาะสำหรับการบริโภคเป็นอาหาร (สุทธวัฒน์, 2548) ซึ่งจากการศึกษาผลของการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นต่อลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าเนื้อของปลาที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ทดแทนปลาป่นที่ระดับ 45 เปอร์เซ็นต์ มีค่า breaking force สูงที่สุด โดยค่า breaking force ที่มีค่าสูงของเนื้อปลาบ่งบอกได้ว่า เนื้อปลาที่ได้รับอาหารดังกล่าวแล้วนำไปรักษาสภาพด้วยการแช่แข็งจะส่งผลทำให้เนื้อปลามีความเหนียวนุ่ม และไม่แตกยุ่ยง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์อื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับการเจริญเติบโตของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ Brewer's yeast ที่ระดับ 45 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีการเจริญเติบโตดีที่สุด ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีของปลาจะเกิดขึ้นเมื่อปลาได้รับอาหารที่สมบูรณ์ (สุทธวัฒน์, 2548)

5.2 ผลของการใช้กากสาโท (rice wine residual) เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง

จากการศึกษาการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงที่ระดับต่างกัน คือ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ และมีอาหารกลุ่มควบคุม 2 กลุ่ม ได้แก่ อาหารสูตรทางการค้า (CA) และอาหารสูตรที่ผลิตขึ้นเองที่ไม่มีการใช้กากสาโท (CB) ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาสวายโมง พบว่าสามารถใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารได้ถึงระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ (D30) โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลาสวายโมง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกากสาโทนั้นมีคุณค่าทางโภชนาการที่ได้จากข้าวและ microorganisms เช่น ยีสต์และรา ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการหมัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งของโปรตีน วิตามิน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และกรดอะมิโนที่จำเป็นเช่น เมทไธโอนีน ดังนั้นการใช้กากสาโทในระดับที่เหมาะสมจึงนำไปสู่การปรับปรุงสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาสวายโมงได้ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานที่ผ่านมาที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารสัตว์ เช่น ในหนู (Tsutsui et al., 1998; Manabe et al., 2004) พบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของหนู เช่นเดียวกับการศึกษาของ Vechklang et al. (2011) ได้มีการนำกากสาโทมาใช้เป็นแหล่ง

โปรตีนทางเลือกเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารปลานิลวัยอ่อน พบว่าการใช้กากสาโทที่ระดับ 22.5% ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของลูกปลานิลวัยอ่อน และจากผลการศึกษา พบว่าปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารที่มีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในระดับที่เพิ่มขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ มีสมรรถนะการเจริญเติบโตต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในอาหารสูตร D40 มีการใช้ประโยชน์ได้ต่ำของ Non-starch polysaccharides (NSPs) ในวัตถุดิบที่ได้จากพืชและกากสาโท โดยไปขัดขวางการย่อยและการดูดซึมของสารอาหารภายในลำไส้จึงนำไปสู่การเจริญเติบโตที่ลดต่ำลง และอาจเกิดจากการขาดกรดอะมิโนจำพวกเมทไธโอนีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของปลา สอดคล้องกับ Elmada et al. (2016) ที่รายงานว่าการขาดเมทไธโอนีนมีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลงและประสิทธิภาพการใช้อาหารได้ต่ำในปลากดเหลือง เช่นเดียวกับการศึกษาที่ผ่านมา ที่พบว่าการขาดเมทไธโอนีนมีผลทำให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดต่ำลงในปลา yellow croaker (Mai et al., 2006); ปลา Jian carp (Tang et al., 2009) และปลา Indian catfish (Ahmed, 2014) นอกจากนี้การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในระดับที่เพิ่มขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีปริมาณการกินได้ (Feed intake) ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (FE) และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์อื่นๆ ($P<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความน่ากินในอาหารต่ำเมื่อมีการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในระดับที่เพิ่มสูงขึ้น จึงมีผลทำให้ feed intake ของปลาสวายโมงมีค่าลดลง ซึ่ง feed intake เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ PER จึงส่งต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร สอดคล้องกับการรายงานของ Vechklang et al. (2011) พบว่าเมื่อใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลานิลที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากอาหารมีความน่ากินต่ำ นอกจากนี้การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง พบว่าไม่มีผลต่อค่าดัชนีน้ำหนักตับ (HSI) แสดงให้เห็นว่าการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารไม่มีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมและเนื้อเยื่อที่ใช้ในการดูดซึมสารอาหารของตับ และหลังสิ้นสุดการทดลองเลี้ยงปลาสวายโมงเป็นระยะเวลา 10 เดือน พบว่า ปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารในทุกทรีทเมนต์ ไม่มีผลต่ออัตราการรอด จากการศึกษาผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อต้นทุนค่าอาหารปลาต่อกิโลกรัม พบว่าการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหาร เท่ากับ 25.13, 24.58, 24.04 และ 23.46 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งพบว่าการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารที่ระดับเพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้ต้นทุนค่าอาหารลดลงเมื่อเทียบกับอาหารสูตรทางการค้า (CA) เท่ากับ 26.00 บาทต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงต้นทุนค่าอาหารต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ พบว่าการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหารต่ำที่สุด (50.00 บาทต่อกิโลกรัม) เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารที่ใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับ 10, 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหารต่ออัตราการแลกเนื้อเท่ากับ 52.77, 50.63 และ 56.07 บาท ตามลำดับ ซึ่งจากผลทดลอง

ดังกล่าว พบว่าการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาใช้ทำสูตรอาหารปลาสวายโมง โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และมีต้นทุนค่าอาหารถูกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์อื่นๆ

การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง พบว่าไม่มีผลต่อค่าโลหิตวิทยาและชีวเคมีของโลหิตของปลาสวายโมง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและการเกิดโรคของปลา ซึ่งสามารถใช้กากสาโทเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารปลาสวายโมงได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Welker et al. (2007) ที่รายงานว่าการใช้ยีสต์ *(S.cerevisiae)* ในอาหารไม่มีผลต่อสุขภาพของปลากดอเมริกัน การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง พบว่าไม่มีผลต่อระดับกลูโคสในเลือด โดยในปลาสวายโมงอยู่ในช่วง 4.14-4.73 mmol/L ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่เป็นปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับระดับกลูโคสในเลือดปลา upside-down catfish และ ปลากดเมริกัน ที่มีค่าอยู่ในช่วง 1.20-21.00 และ0.94-4.80 mmol/L ตามลำดับ (Owolabi 2011; Tavares-Dias and Moraes 2007) แสดงให้เห็นว่ากากสาโทที่นำมาใช้ทดแทนปลาป่นไม่มีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในปลาสวายโมง การศึกษาการใช้กากสาโทเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมง พบว่าไม่มีผลต่อค่า Blood urea nitrogen (BUN) ในพลาสมาของปลาสวายโมง โดยค่า BUN ของปลาสวายโมงอยู่ในช่วง 0.30-0.31 mmol/L ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่เป็นปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับปลาดุกบิ๊กอุยอยู่ในช่วง 0.3-3.4 mmol/L (Myburgh et al., 2008) แสดงให้เห็นว่าการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพและปริมาณของโปรตีนในอาหารซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับ 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีค่า cholesterol ในพลาสมาต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่นๆ ($P<0.05$) ทั้งนี้อาจเกิดจากการลดลงของปลาป่นในอาหารเมื่อทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทในระดับที่เพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลทำให้ cholesterol ลดลง ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึมของไขมัน สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ รายงานว่าระดับ cholesterol .ในเลือดมีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของไขมันและเกี่ยวกับการบริโภคอาหาร (Chen et al., 2003; Tocher et al., 2008) นอกจากนี้การศึกษาการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน พบว่า ไม่ส่งผลกระทบต่อ Alternative complement activity (ACH50) Lysozyme activity และ Total immunoglobulin (Total Ig) ของปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารในทุกทรีทเมนต์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงในระยะเวลาสั้นอาจให้ผลดีในการกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันและการต้านทานโรคได้ดีกว่าการเลี้ยงแบบระยะยาว ซึ่งสอดคล้องกับหลายการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการให้อาหารปลาโดยการใช้ยีสต์ในระยะเวลาสั้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันและความต้านทานโรคได้ดีกว่าการเลี้ยงแบบระยะยาว (Chen and Ainsworth, 1992; Welker et al., 2007) ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับชนิด

ของปลา อายุ ขนาด โภชนาการ สรีรวิทยา และแหล่งที่มาของยีสต์ (Welker et al., 2007; Abdel-Tawwab et al.,. 2008; Peterson et al.., 2012)

การใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ พบว่า สามารถใช้กากสาโททดแทนปลาป่นได้ถึงระดับที่ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อความสูงของวิลไลในลำไส้ส่วน foregut, midgut และ hindgut ของปลาสวายโมงเมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารที่ผลิตขึ้นเองที่ไม่ใช้กากสาโท (CB) ($P>0.05$) ซึ่งปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีความสูงของวิลไลสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) และปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากในอาหารทดลอง D30 ประกอบไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่ได้จากข้าวและ microorganisms เช่น ยีสต์ และรา ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการหมัก ไปช่วยส่งเสริมกิจกรรมของเอนไซม์มีผลต่อความสมดุลของจุลินทรีย์ภายในลำไส้โดยไปกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์และลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรคนำไปสู่การปรับปรุงความสูงของวิลไลและเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการดูดซึมของสารอาหารให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Zhu et al. (2012) ที่รายงานว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการใช้ยีสต์มีผลในการช่วยเพิ่มความสูงของวิลไลในลำไส้สำหรับการดูดซึมสารอาหารในปลา channel catfish ปลาที่ได้รับอาหารที่การทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทในระดับที่เพิ่มสูงขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) พบว่ามีความสูงของวิลไลต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่นๆ ($P<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการมี non-starch polysaccharides (NSPs) ในอาหาร ปริมาณของคาร์โบไฮเดรตเพิ่มสูงขึ้น และการขาดกรดอะมิโนเมทไธโอนีน ทำให้ก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบทางเดินอาหารของปลาได้ ระดับเพิ่มสูงขึ้นของ NSPs ในอาหารมีผลในการเพิ่มความหนืดในการย่อยของสารอาหารในลำไส้โดยเข้าไปห้อมล้อมสารอาหาร ซึ่งไปขัดขวางการย่อยและการดูดซึมของสารอาหาร ส่งผลให้เกิดการหลุดลอกและเกิดการตายของเซลล์ นำไปสู่การลดลงของความสูงของวิลไล ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลา อย่างไรก็ตามปลาไม่มีเอนไซม์สำหรับการย่อย NSPs (Kuz'mina, 1996) ผลการศึกษานี้ให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาในปลาชนิดอื่นๆ เช่น ในปลา rainbow trout (Storebakken, 1985) ปลา African catfish (Leenhouwers et al., 2006) และ ปลา Carp (Sinha et al., 2011) สอดคล้องกับ Vechklang et al. (2011) ชี้ให้เห็นว่าการใช้กากสาโทในระดับที่เพิ่มสูงขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบทางลบต่อลักษณะสัณฐานวิทยาในลำไส้ของปลานิล อย่างไรก็ตามการทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทไม่มีผลต่อจำนวนของ goblet cell ในลำไส้ส่วนต่างๆ ของปลาสวายโมง

จากการศึกษาการใช้กากสาโทเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา พบว่าไม่มีผลต่อความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าของปลาสวายโมง

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารไม่มีผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ของอาหารและการเก็บรักษาอาหารของปลาสำหรับการรักษาระดับเสถียรภาพของโปรตีน ไขมัน และเถ้า เพื่อรักษาการทำงานของร่างกายให้เป็นปกติ สอดคล้องกับ Peterson et al. (2012) ที่รายงานว่าการทดแทนปลาป่นด้วยแหล่งโปรตีนที่ได้จากยีสต์ไม่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาเนื่องจากไม่มีผลกระทบจากการใช้ประโยชน์ของสารอาหารในปลากดอเมริกัน จากการศึกษาผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อค่าสีของเนื้อปลา พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ผลิตขึ้นเองที่ไม่ใช้กากสาโท (CB) และการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นที่ระดับต่างๆ มีผลทำให้ค่าความสว่าง (Lightness; L*-value) และค่าความขาว (Whiteness) ของเนื้อปลาสดสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) ($P<0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากปลาสวายโมงเป็นปลาลูกผสมระหว่างแม่พันธุ์ปลาสวายและพ่อพันธุ์ปลาโมง โดยได้ลักษณะเด่นทางด้านคุณภาพเนื้อจากพ่อพันธุ์ปลาโมงคือ มีเนื้อสีขาว จึงทำให้กากสาโทสามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงโดยไม่ส่งผลกระทบต่อค่าสีของเนื้อปลา อย่างไรก็ตามปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) มีผลทำให้เนื้อปลาสวายโมงมีค่าสีเหลือง (Yellowness ; b*-value) สูงที่สุด ค่าความสว่าง (Lightness; L*-value) และค่าความขาว (Whiteness) ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับทรีทเมนต์อื่นๆ ($P<0.05$) ทั้งนี้การที่เนื้อปลามีค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นอาจเกิดมาจากวัตถุดิบอาหารมีส่วนผสมของสารสีที่พบในข้าวโพด เมื่อปลากินเข้าไปจะทำให้เนื้อและไขมันของปลามีสีเหลืองซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการเลี้ยงปลาสวายโมงเพราะอาจมีผลทำให้เนื้อปลามีมูลค่าลดลง สอดคล้องกับการรายงานของ de Francesco et al. (2004) ที่กล่าวว่าการใช้โปรตีนจากพืชมาทำอาหารให้ปลามีผลทำให้ค่าสีเหลืองของเนื้อปลาเพิ่มสูงขึ้น (Yellowness ; b*-value) และทำให้ค่าความสว่าง (Lightness ; L*-value) ลดลง เช่นเดียวกับ Brinker and Reiter (2011) ได้รายงานว่า การใช้โปรตีนจากพืชมีความเสี่ยงต่อการได้มาของสารสี เช่น lutein, zeaxanthin, carotenoid และ hydroxycarotenoid เป็นต้น ซึ่งสารดังกล่าวจะทำให้เนื้อปลามีสีเหลืองได้

นอกจากนี้การศึกษาผลของการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวายโมงต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษา (Drip loss) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหลังการทำให้สุก (Cook loss) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) พบว่า ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาหลังการทำให้สุก และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของเนื้อปลา โดยค่า pH อยู่ในช่วง 6.69-6.73 แสดงให้เห็นว่าเนื้อปลาสวายโมงที่ได้รับอาหารในทุกทรีทเมนต์เป็นเนื้อที่มีคุณภาพดีเนื่องจากมีค่า pH อยู่ในช่วงกรดอ่อน โดยเมื่อสัตว์น้ำตายจะทำให้ค่า pH มีค่าลดลงซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการไกลโคไลซีสก่อให้เกิดกรดแลกติกในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ทั้งนี้ปริมาณกรดแลกติกที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณไกลโคเจนที่สะสมก่อนตาย (สุญาณีพร และคณะ, 2551) และการใช้กากสาโททดแทนปลาป่นในอาหารต่อลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยกากสาโทที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่า breaking force สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทางการค้า (CA) ($P<0.05$) โดยค่า

breaking force ที่มีค่าแรงสูงที่ใช้ในการกดเนื้อปลาสามารถบ่งบอกได้ว่าเนื้อปลาที่ได้รับอาหารดังกล่าวมีความเหนียวนุ่ม (Toughness) และไม่แตกยุ่ยง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์อื่นๆ จึงทำให้เนื้อปลาที่ได้รับอาหารดังกล่าวเหมาะสำหรับในการบริโภคของผู้บริโภคได้

สรุปและข้อเสนอแนะ

สามารถใช้กากยีสต์แห้ง (Brewer's yeast) ทดแทนปลาป่นในอาหารได้ถึงระดับ 45 เปอร์เซ็นต์ และสามารถใช้กากสาโท (rice wine residual) ทดแทนปลาป่นในอาหารได้ถึงระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร มีต้นทุนค่าอาหารถูกกว่าทรีทเมนต์อื่นๆ โดยไม่มีผลต่อสุขภาพของปลา และคุณภาพของเนื้อปลา การศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาเพิ่มเติม protein sparing effect เนื่องจากปลาสวายโมงเป็นปลากลุ่มเดียวกับปลาสวาย ซึ่งพบว่ามีความสามารถในการใช้คาร์โบไฮเดรตได้ดี และคาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานที่มีราคาถูกโดยเฉพาะแหล่งของคาร์โบไฮเดรตจากมันสำปะหลัง เพื่อทำให้การลดต้นทุนค่าอาหารของปลาสวายโมงประสบความสำเร็จมากยิ่งขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

จูอะดี พงศ์มณีรัตน์ พิชญา ชัยนาค ทวี จินดามัยกุล และชูศักดิ์ บริสุทธิ. (2545). ระดับโปรตีนที่เหมาะสมในอาหารปลากะพงแดง. **วารสารการประมง**. 55(5): 413-421.

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

พิสุทธิ์ มังกรกาญจน์ ลำพอง ทองป่น กรรณิกา ชัชชวาลวานิช วีระชัย โชติรัตนศักดิ์ สุขใจ มหรรทัศนพงศ์ วรรณชไม การถนัด ถนิมาภรณ์ ตั้งตัยรัตนกุล และเสน่ห์ ผลประสิทธิ์. (2533). ค่าโลหิตวิทยาและรูปร่างลักษณะเม็ดเลือดของปลาบึก. **รายงานวิจัยสาขาสัตวแพทย์**. 583-588.

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. (2536). **อาหารปลา**. กรุงเทพมหานคร. โอเดียนสโตร์. 216.

วุฒิพร พรหมขุนทอง. (2541). **โภชนาศาสตร์สัตว์น้ำ. ภาควิชาวาริชศาสตร์. คณะทรัพยากรธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.**

เวียง เชื้อโพธิ์หัก. (2542). **โภชนศาสตร์สัตว์น้ำและการให้อาหารสัตว์น้ำ. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.**

ศักดิ์ชัย ชูโชติ. (2536). การเลี้ยงปลาน้ำจืด. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์. คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สาโรช ค้าเจริญ. (2547). **อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.**

สุญาณีพร ตุลยพงศ์รักษ์ ปัทมา ระตะนะอาพร และจิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร. (2551). การเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของปลาสวายโมงที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง. **รายงานการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 46 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาประมง**. 29 ม.ค.-1 ก.พ. 2551. 228-235.

สุทธิวัฒน์ เบญจกุล. (2548). **เคมีและคุณภาพสัตว์น้ำ**. กรุงเทพฯ. โอเดียนสโตร์.

สุภาพ แก้วละเอียด อุดมชัย อาภากุลอนุ บรรจง จำนงศิตธรรม และอายุวัฒน์ นิลศรี. (2554). การผลิตปลาสวายโมงขนาด 1 นิ้ว ด้วยอัตราความหนาแน่นต่างกันในรางระบบน้ำหมุนเวียน. **เอกสารวิชาการ. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด**. กรมประมง. 4: 1-25.

สมร พรชื่นชูวงศ์ อรรณพ อิ่มศิลป์ และสมบัติ สิงห์สี. (2553). การเก็บรักษาน้ำเชื้อปลาเผาะ (*Pangasius bocourti*) โดยวิธีการแช่แข็ง. **รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

สมร พรชื่นชูวงศ์ สุพรรณ ขันน้ำเที่ยง สุรชัย ภาสดา สุคนธา เลขะพันธ์รัตน์ นิศารัตน์ ปุณณารักษ์ และนฤพล สุขุมาสวิน. (2550). ผลของสาร Extenders และสาร Cryoprotectants ที่มีผลต่อ

อัตราการปฏิสนธิของน้ำเชื้อปลาสวายโมงโดยวิธีการแช่แข็ง. **วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง.** 1: 11-22.

สุวิภา จรจันทึก. (2553). การศึกษาความเป็นไปได้ในการเลี้ยงปลาสวายโมงในกระชังเชิงพาณิชย์จังหวัดนครพนม. **สารนิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต**. ภาควิชาเศรษฐศาสตร์. มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

อนุพงษ์ สนิทชน ประภาส โฉลกพันธ์รัตน์ และวิรัช จิ๋วแหยม. (2548). ลักษณะภายนอกและภายในที่ใช้จำแนกปลาสวายและปลาสังกะวาดที่พบในแม่น้ำโขงจังหวัดหนองคายและนครพนม. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น.** 5(2): 53-62.

Abdel-Tawwab, M., Abdel-Rahman, A. M., and Ismael, N. (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.

Amar, E. C., Kiron, V., Satoh, S., and Watanabe, T. (2004). Enchancement of innate immunity in Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) associated with dietary intake of carotenoids from natural products. **Fish and Shellfish Immunology**. 16: 527-537.

Andrews, S. R., Sahu, N. P., Pal, A. K., and Kumar S. (2009). Haematological modulation and growth of *Labeo rohita* fingerlings: effect of dietary mannan oligosaccharide, yeast extract, protein hydrolysate and chlorella. **Aquaculture Research.** 41: 61-69.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2000). Official Methods of analysis, 17th edn. AOAC, Washington, D.C., 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.

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: 350-360.

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

Chen, C., Wooster, G.A., Getchell, R.G., Bowser, P.R. & Timmons, M.B. (2003). Blood chemistry of healthy, nephrocalcinosis-affected and ozone-treated tilapia in a recirculation system with application of discriminant analysis. **Aquaculture** 218: 89–102.

Dalmo, R. A., and Bogwald, J. (2008). β-glucan as conductors of immune symphonies. **Fish and Shellfish Immunology**. 25: 384-396.

Demers, N. E., and Bayne, C. J. (1997). The immediate effects of stress on hormone and plasma lysozyme in Rainbow trout. **Developmental and 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.

Edward, J. N. (2000). **Fish disease diagnosis and treatment**. State Avenue, Ames: Blackwell Publishing Professional.

Engstad, R. E., Robertsen, B., and Frivold, E. (1992). Yeast glucan induces increase in lysozyme and complement mediated haemolytic activity in Atlantic salmon blood. **Fish and Shellfish Immunology**. 2: 287-297.

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

Fournier, V., Gouillou-Coustans, M. F., Métailler, R., Vachot, C., Moriceau, J., Le Delliou, H., Huelvan, C., Desbruyeres, E., and Kaushik, S. J. (2003). Excess dietary arginine affects urea excretion but does not improve N utilisation in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and turbot *Psetta maxima*. **Aquaculture**. 217: 559-576.

Fournier, V., Gouillou-Coustans, M. F., Metailler, R., Vachot, C., Moriceau, J., Le Delliou, H., Huelvan, C., Desbruyeres, E., and Kaushik, S. J. (2002). Nitrogen utilisation and ureogenesis as affected by dietary nucleic acid in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and turbot (*Psetta maxima*). **Fish Physiology and Biochemistry**. 26: 177-188.

Garling, D. L., Jr., and Wilson, R. P. (1976). Optimum dietary protein-to-energy ratios for Channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus*. **Journal of Nutrition**.106: 1368-1375.

Hardy, R. W., and Tacon, A. G. J. (2002). Fish meal: historical uses, production trends and future outlook for sustainable supplies. In Stickney, R. R., and McVey, J. P. (eds.). **Responsible Marine Aquaculture**. pp. 311-325. CAB International, Oxon, UK.

Hisano, H., Narva´ez-Solarte, W. V., Barros, M. M., and Pezzato, L. E. (2007). Growth performance of Nile tilapia fingerling fed on yeast and yeast derivation. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 42: 1035-1042.

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

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

Kikushi, K., Honda, H., and Kiyono, M. (1993) Effect of dietary protein source on growth and nitrogen excretion of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). Carrillo, M. Dahle, L.Morales, J. Sorgeloos, P. Svennevig, N. Wyban, J. (eds.). **World Aquaculture '93 Int. Conf.**, Torremolinos (Spain), 26–28 May. pp. 400.

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.

Kuz'mina, V.V. (1996). Influence of age on digestive enzyme activity in some freshwater teleosts. **Aquaculture.** 148: 25-37.

Leenhouwers, J.I., Adjei, B.D., Verreth, J.A.J. & 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.

Lie, Ø. (2001). Flesh quality: the role of nutrition. **Aquacuture Research**. 32: 341–348.

Li, M. H., Robinson, E. H., Oberle, D. F., and Lucas, P. M. (2010). Effect of various corn distillers by-products on growth and feed efficiency of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. **Aquaculture Nurtrition.** 16: 188-193.

Li, P., and Gatlin III, D. M. (2003). Evaluation of brewer's yeast (*Saccharomycescerevisiae*) as a feed supplement for hybrid striped bass (*Morone chrysopsxM. saxatilis*). **Aquaculture.** 219: 681-692.

Li, P., Burr, G. S., Goff, J., Whiteman, K. W., Davis, K. B., Vega, R. R., Neill, W. H., and Gatlin, D. M. (2005). A preliminary study on the effects of dietary supplementation of brewer's yeast and nucleotides, singularly or in combination, on juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. **Aquaculture Research.** 36: 1120–1127.

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.

Loong, J. M. (2013). Evaluation of spent brewer's yeast as an alternative fish feed. **Bachelor of scence (HONS) biochemistry**. Faculty of science. University Tunku Abdul Rahman. 90.

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.

Mai, K., Wan, J., Ai, Q., Xu, W., Liufu, Z., Zhang, L., Zhang, C. & 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.

Mohanty, S. N., Swain, S. K., and Tripathi, S. D. (1996). Rearing of catla (*Catla catla* Ham.) spawn on formulated diets. **Journal of aquaculture in the tropics**. 11: 253–258.

Montero, D., Tort, L., Izquierdo, M. S., Robaina, L., and Vergara, J. M. (1998). Depletion of serum alternative complement pathway activity in Gilthead seabream

caused by α-tocopherol and n-3 hufa dietary deficiencies. **Fish Physiology and Biochemistry**. 18: 399-407.

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(4): 156-160.

NRC (National Research Council). (1993). **Nutrition Requirement of fish**. National Acadey of Press, Washingtonm, DC.

NRC (National Research Council). (1998). **Nutrient requirements of swine**. 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.

Oliva-Teles, A., Guedes, M. J, Vachot, C., and Kaushik, S. J. (2006). The effect of nucleic acids on growth, ureagenesis and nitrogen excretion of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles. **Aquaculture**. 253: 608-617.

Ortuño, J., Cuesta, A., Rodr´guez, A., Esteban, M. A., and Meseguer, J. (2002). Oral administration of yeast, *Saccharomyces cerevisiae*, enhances the cellular innate immune response of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). **Veterinary Immunology and Immunopathology**. 85: 41-50.

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.

Ozório, 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.

Pereira-da-Silva, E. M., and Pezzato, L. E. (2000). Response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to the attraction and palatability of the used ingredients in the feeding of fishes. Revista Brasileira de Zootecnia. 29: 1273–1280.

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*. **Aquculture nitrition**. 18: 132-137.

Reyes-Becerril, M., Tovar-Ramírez, Ascencio-Valle, F., Civera-Cerecedo, R., Gracia-López, V., Barbosa-Solomieu, V., and Esteban, M. Á. (2008). Effects of dietary live yeast *Debaryomyces hansenii* on the immune and antioxidant system in juvenile leopard grouper *Mycteroperca rosacea* exposed to stress. **Aquaculture**. 280: 39-44.

Sanderson, G. W., and Jolly, S. O. (1994). The value of Phaffia yeast as a feed ingredient for salmonid fish. **Aquaculture**. 124: 193–200.

Shakoori, A. R., Mugha, A. L., and Iqbal, M. J. (1996). Effects of sublethal doses of fenvalarate (a synthetic pyrethroid) administered continuously for four weeks on the blood, liver and muscles of a freshwater fish, *Ctenopharyngodon idella*. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**. 57: 487-494.

Sinha, A.K., Kumar, V., Makkar, H.P.S., Boeck, G.D. & Becker, K. (2011). Non-starch polysaccharides and their role in fish nutrition- A review. **Food Chemistry**. 127: 1409-1426.

Siwicki, A. K., Anderson, D. P., and Rumsey G. L. (1994). Dietary intake of immunostimulants by rainbow trout affects non-specific immunity and protection against furuculosis. **Veterinary Immunology and Immunopathology**. 41: 125-139.

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.

Susan, M. (2000). Blood Collection and Analysis [Online]. Availble: http://www2.ivcc.edu/caley/108/lab_checklists/blood_lab/blood.html. April 18, 2003.

Tacon, A. G. J., Metian, M., and Hasan, M. R. (2009). Feed ingredients and fertilizers for farmed aquatic animals: sources and composition. [Online]. Available: http://www.fao.org/docrep/012/i1142e/i1142e.pdf. March 1, 2014.

Tang, L., Wang, G.X., Jiang, J., Feng, L., Yang, L., Li, S.H., Kuang, S.Y. & 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. & 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.

Tocher, D.R., Bendiksen, E.A., Campbell, P.J. & 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

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. **Journal of the World Aquaculture Society.** 38: 24-35.

White, L. A., Newman, M. C., Cromwell, G. L., and Lindemann, M. D. (2002). Brewer's dried yeast as a source of mannan oligosaccharides for weanling pigs. **Journal of Animal Science.** 80: 2619-2628.

Whyte, J. N. C., and Sherry, K. L. (2001). Pigmentation and composition of flesh of Atlantic salmon fed diets supplemented with the yeast *Phaffia rhodozyma*. North American **Journal of Aquaculture.** 63: 52–57.

Yoshida, T., Kruger, R., and Inglis, V. (1995). Augmentation of non-specific protection in African catfish, *Clarias gariepinus* (burchell), by the long-term oral administration of immunostimulants. **Journal of Fish Diseases**. 18: 195-198.

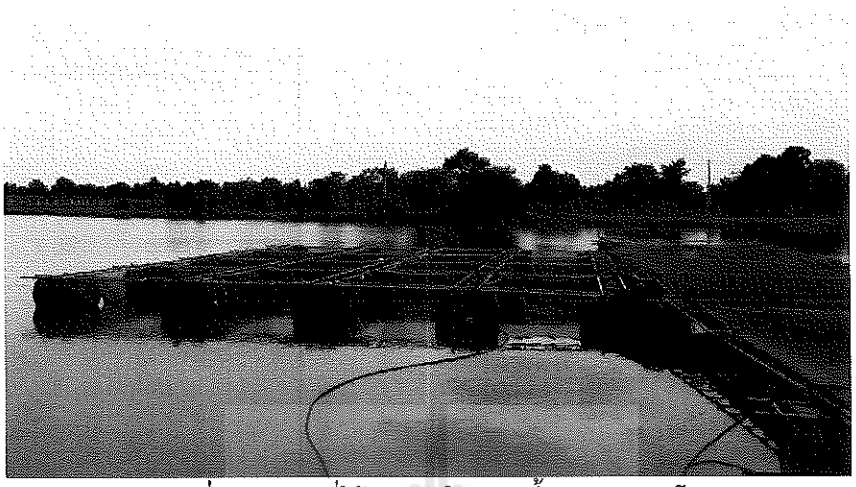
Zerai, D. B., Fitzsimmons, K. M., Collier, R. J., and Duff, G. C. (2008). Evaluation of brewer's waste as partial replacement of fish meal protein in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, diets. **Journal of the World Aquaculture Society**. 39: 556-564.

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.

Zhu, S., Ramaswamy, H. S., and Simpson, B. K. (2004). Effect of high-pressure versus conventional thawing on color, drip loss and texture of Atlantic salmon frozen by different methods. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol**. 37: 291-299.

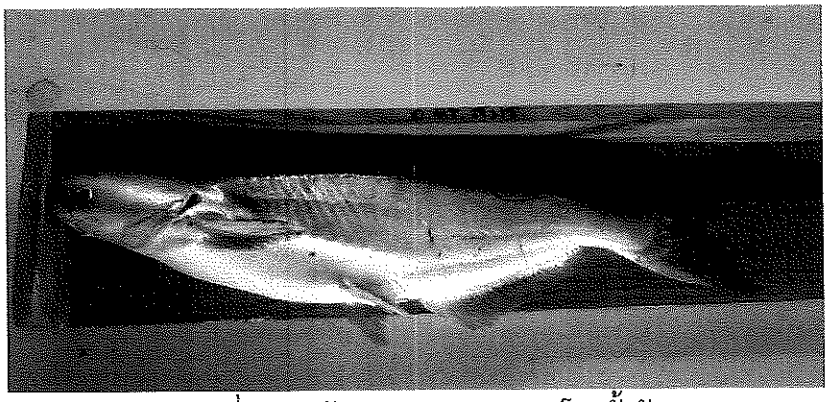
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

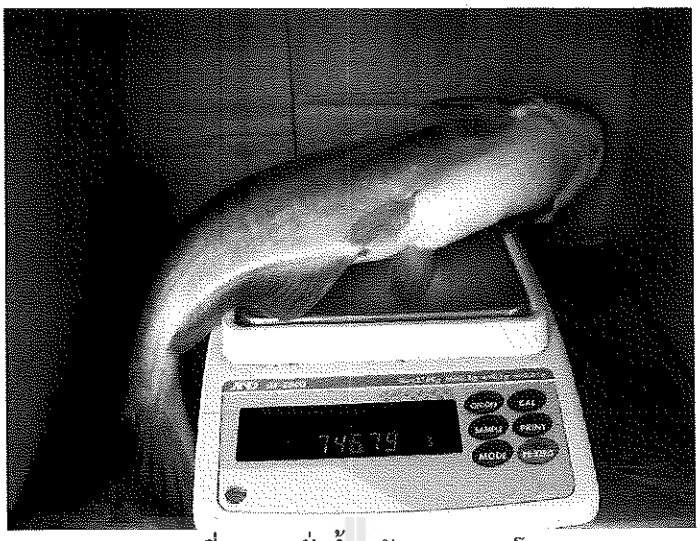


ภาพที่ 1 กระชังที่ใช้สำหรับในการเลี้ยงปลาสวายโมง

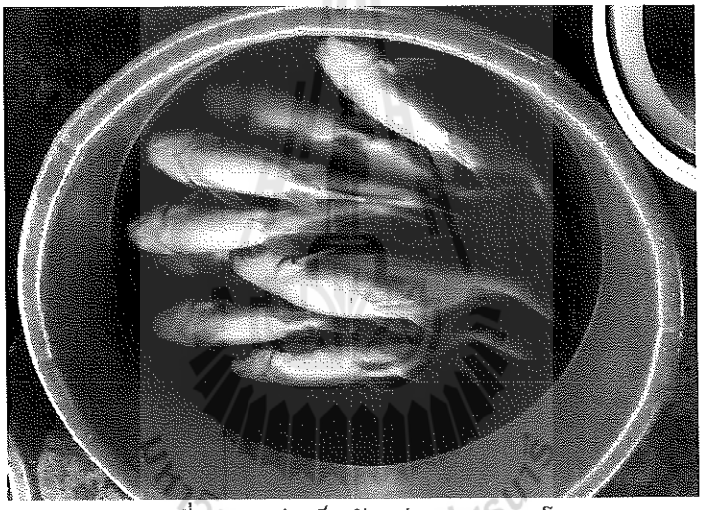
ภาพที่ 2 การทำอาหารเม็ดทดลองสำหรับเลี้ยงปลาสวายโมง



ภาพที่ 3 การวัดความยาวปลาสวายโมงทั้งตัว

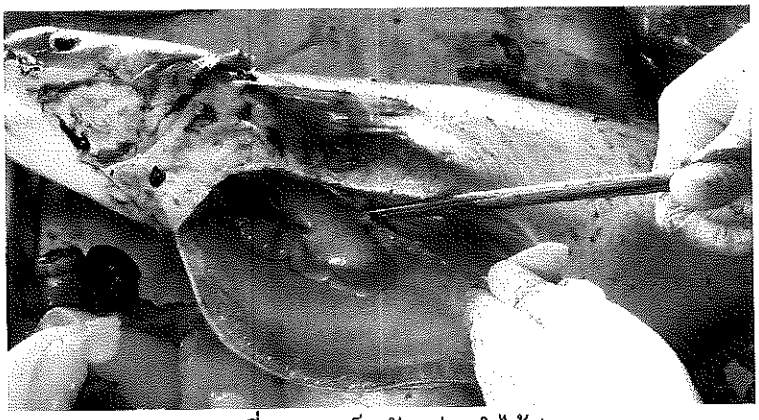


ภาพที่ 4 การชั่งน้ำหนักปลาสวายโมง

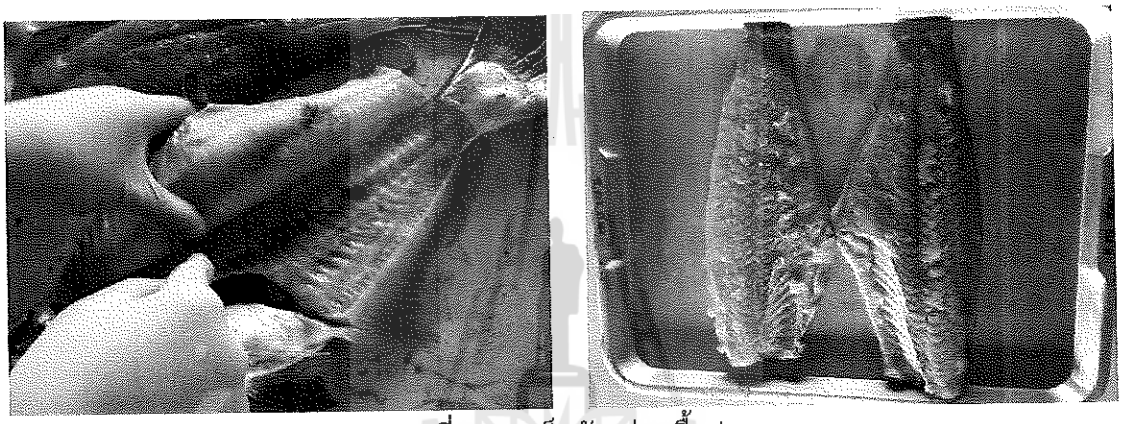


ภาพที่ 5 การสุ่มเก็บตัวอย่างปลาสวายโมง

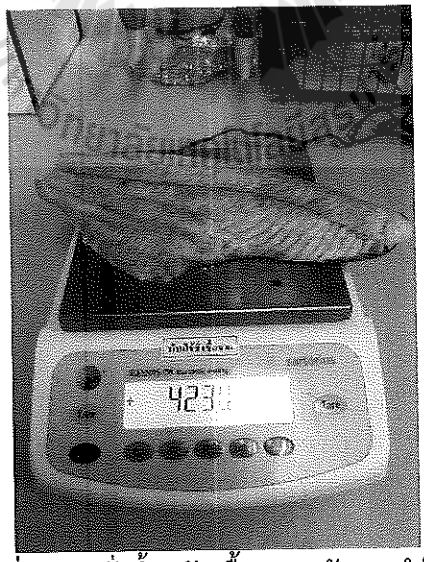
ภาพที่ 6 การเก็บตัวอย่างเลือดปลา



ภาพที่ 7 การเก็บตัวอย่างลำไส้ปลา



ภาพที่ 8 การเก็บตัวอย่างเนื้อปลา



ภาพที่ 9 การชั่งน้ำหนักเนื้อปลาหลังการทำให้สุก

ภาคผนวก ข

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (มาจากวิธีการของ AOAC, 2000)

1.1 การวิเคราะห์หาค่าความชื้นและสิ่งแห้ง (Moisture and Dry Matter)

1.1.1 หลักการและเหตุผล

ความชื้นในอาหารหรือวัตถุดิบอาหารมีผลต่อค่าตัวเลขที่แสดงถึงปริมาณโภชนะต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างนั้น เมื่อแสดงปริมาณโภชนะเป็นสัดส่วนของน้ำหนักจริง นอกจากนี้ปริมาณความชื้นที่เพิ่มมากเกินไปจะมีผลต่อการรักษาวัตถุดิบอาหาร ณ อุณหภูมิห้อง ดังนั้นในการที่จะเปรียบเทียบปริมาณโภชนะระหว่างวัตถุดิบอาหารต่างๆจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงค่าของความชื้น ลักษณะของน้ำหรือความชื้นที่ประกอบอยู่ในอาหารจะเป็นน้ำอิสระ (Free or available water) ส่วนน้ำซึ่งเกาะอยู่กับโมเลกุลสารประกอบอื่นๆ (Bound water) เช่น โปรตีน การที่จะแยกออกมาโดยการระเหยให้แห้งด้วยความร้อนนั้นทำได้ลำบาก เพราะใช้อุณหภูมิสูงและจะทำให้เกิดการสลายของสารประกอบอื่นๆที่มีอยู่ในอาหารนั้นด้วย

1.1.2 วิธีการวิเคราะห์หาความชื้นโดยวิธีอบแห้ง (Dry oven method)

1.1.2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1) ตู้อบแห้ง (Dry oven)

2) ถ้วยอะลูมิเนียมและช้อนตักตัวอย่าง

3) เครื่องชั่งละเอียดทศนิยมไม่ต่ำกว่า 3 ตำแหน่ง

1.1.2.2 วิธีวิเคราะห์

1) อบถ้วยอะลูมิเนียมที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชม. ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น

2) ชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ใส่ในถ้วย แล้วนำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 4-8 ชม

3) ชั่งน้ำหนักถ้วยหลังอบ

1.1.2.3 การคำนวณ

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

$$\% \text{ สิ่งแห้ง} = \frac{\text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{ตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

$$\text{หรือ} = 100 - \% \text{ ความชื้น}$$

1.2 การวิเคราะห์หาสารไขมัน (Crude Lipid)

1.2.1 หลักการและเหตุผล

สารไขมัน (Lipids) มีคุณสมบัติในการละลายได้ในสารอินทรีย์ (Organic solvents) เช่น alcohol petroleum ether heptane toluene เป็นต้น การสกัดสารไขมันอย่างต่อเนื่องด้วย petroleum ether โดยใช้เครื่องสกัดประเภท soxlettype extractor หรือแบบอื่น ๆ ที่ทำงานในลักษณะเดียวกัน คือ มีการให้ความร้อนจนสารละลายอินทรีย์ระเหย แล้วทำให้มีการควบแน่นกลับคืนของไอระเหยของสารนั้น เมื่อผ่านเครื่องควบแน่น (Condenser) ในระบบปิด เพื่อให้ไหลกลับลงมาละลายหรือสกัดสารไขมันออกจากตัวอย่าง โดยปกติจะใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมงในการสกัด แต่เวลาที่เหมาะสมจะแปรผันไป ขึ้นอยู่กับปริมาณและลักษณะของตัวอย่างที่นำมาสกัด หลังขบวนการสกัดตามเวลาที่กำหนด petroleum ether ที่ใช้จะถูกระเหยและแยกออกไปเกือบหมดเหลือส่วนที่ยังคงตกค้างอยู่กับสารไขมันที่สกัดได้ เมื่อนำเข้าอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมงครึ่งถึง 2 ชั่วโมง petroleum ether ที่เหลือก็จะระเหยไปหมด

1.2.2 วิธีการวิเคราะห์หาไขมัน (Ether Extract) ด้วยเครื่อง Soxtherm

1.2.2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1) เครื่อง soxtherm สำหรับสกัดสารด้วยตัวทำละลาย (Solvent) ที่มีระบบควบแน่นตัวทำละลาย

2) thimble ขนาด 33 x 88 mm. (ตามขนาดที่ใช้กับเครื่อง) และสำลี

3) กระบอกแก้วสำหรับรองรับไขมันที่สกัดได้ (Glass extraction beaker) ที่ใช้กับเครื่อง soxtherm

4) petrolium ether ที่มีจุดเดือด 40–60 องศาเซลเซียส

1.2.2.2 วิธีการวิเคราะห์

1) ชั่งน้ำหนัก thimble ที่อบแห้งแล้ว ตักตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่ใน thimble ประมาณ 3–5 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนไว้ ใช้สำลีปิดปาก thimble ป้องกันตัวอย่างลอย

2) ชั่งและบันทึกน้ำหนักกระบอกแก้วที่อบแห้ง (ในโถดูดความร้อน) เท pretrolium ether ลงในกระบอกแก้ว 60 มล.

3) นำ thimble และกระบอกแก้วไปประกอบใส่เครื่องสกัดไขมัน soxtherm ที่เปิดน้ำผ่านระบบ condenser แล้วต่อไป

4) เดินเครื่องเพื่อสกัดไขมันเป็นเวลาประมาณ 6 ชม. เพื่อให้ไขมันถูกสกัดออกหมด

5) หยุดการสกัดโดยปรับปุ่ม recovery เพื่อให้อีเทอร์ระเหยออกจากกระบอกแก้วควบแน่นและหยดลงถังเก็บจนเหลือในกระบอกแก้วประมาณ 2–3 มล. ระวังอย่าให้แห้งจนถึงไหม้

6) นำกระบอกแก้วพร้อมไขมัน เข้าอบที่ 10 องศาเซลเซียส นาน 4 ชม. เพื่อให้อีเทอร์ระเหยออกหมด

7) นำกระบอกแก้วพร้อมไขมัน มาใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น ชั่งและบันทึกน้ำหนักไขมัน

1.2.2.3 การคำนวณ

$$\% \text{ ไขมัน} = \frac{\text{น.น.แก้วหลังอบ) – น.น.แก้วก่อนอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

1.3 การวิเคราะห์หาโปรตีนหยาบ (Crude Protein)

1.3.1 หลักการและเหตุผล

โปรตีนเป็นสารที่จำเป็นแก่ร่างกายทั้งคนและสัตว์ เช่นเดียวกับสารอาหารอื่นๆ แต่โปรตีนเป็นสารอาหารที่มีราคาแพง เมื่อเทียบต่อหน่วยน้ำหนัก และปริมาณความต้องการโปรตีนของร่างกาย ดังนั้นจึงมักมีการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในอาหารหรือวัตถุดิบอาหารต่างๆ วิธีการวิเคราะห์โปรตีนในห้องปฏิบัติการโดยทั่วไปนิยมใช้วิธีเจลดาฮ์ล (Kjeldahl method) เป็นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุไนโตรเจน (N.nitrogen) ทั้งหมด ซึ่งจะรวมทั้งธาตุไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโน (Amino acid) ในโปรตีนจริงและธาตุไนโตรเจนในรูปสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่โปรตีน (Non protein nitrogen: NPN) การวิเคราะห์โดยวิธี Kjeldahl method เป็นการเปลี่ยนไนโตรเจนที่มีในอาหารให้อยู่ในรูปของ ammonium sulfate $(NH_4)_2SO_4$ โดยการย่อยตัวอย่างกับกรดกำมะถันเข้มข้น (H_2SO_4 conc.) และเมื่อให้ทำปฏิกิริยาต่อกับด่าง NaOH ก็จะได้ก๊าซแอมโมเนียหรือในรูป NH_4OH ที่ละลายอยู่ในน้ำ แล้วทำการกลั่นเพื่อแยกเอาไนโตรเจนออกมา โดยใช้กรดมาตรฐานที่มีปริมาณมากเกินพอเป็นตัวดักจบเอาไว้ หลังจากนั้นจึงนำไปไตเตรทหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่กลั่นได้จากตัวอย่าง ซึ่งเมื่อคูณปริมาณไนโตรเจนด้วย protein factor (ทั่ว ๆ ไปใช้ค่าเฉลี่ย 6.25) แล้วจะได้ค่าโปรตีนหยาบทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่างนั้น

การวิเคราะห์แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. การย่อย (Digestion) เป็นการนำตัวอย่างมาย่อยหรือทำปฏิกิริยากับกรด H_2SO_4 conc. ให้สมบูรณ์ ไนโตรเจนในอาหารในรูป organic nitrogen จะถูกเปลี่ยนเป็น ammonium sulfate
2. การกลั่น (Distillation) เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างด่าง NaOH กับไนโตรเจนที่อยู่ในรูป ammonium sulfate ได้ NH_3 ซึ่งจะถูกกลั่นออกมาในรูปก๊าซ NH_3 หรืออยู่ในรูปรวมกับน้ำเป็น ammonium hydroxide (NH_4OH) และถูกจับไว้ด้วยกรดมาตรฐานที่มากเกินพอ ดังปฏิกิริยา
3. ไตเตรท (Titration) เป็นการหาปริมาตรของไนโตรเจนที่ถูกกลั่นออกมาในรูปของก๊าซแอมโมเนียที่ทำปฏิกิริยากับกรดมาตรฐานที่ใช้ไตเตรท เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่าง

1.3.2 วิธีการวิเคราะห์โดย Kjeldahl method

1.3.2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1) kjeldahl digestion flask ขนาด 750 – 800 มล.

2) เครื่องอุปกรณ์สำหรับย่อยและกลั่นโปรตีน

3) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 200 มล.

4) pipette ขนาด 25 มล.

5) ชุดอุปกรณ์สำหรับไตเตรท ได้แก่ burette ขาตั้ง และแม่เหล็กช่วยกวน (Magnetic stirrer)

6) ขวดฉีดบรรจุน้ำกลั่น

7) กระดาษแก้วชั่งสารที่ไม่มีไนโตรเจนปน สำหรับชั่งและห่อตัวอย่าง

8) สารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst mixture) จำนวน 2 กรัม ต่อ flask ประกอบด้วย anhydrous sodium sulfate (Na_2SO_4) 20 ส่วน และ anhydrous copper sulfate ($CuSO_4$) 1 ส่วน โดยน้ำหนัก

9) screen methyl red indicator

10) สารละลาย NaOH 45% จำนวน 85 มิลลิลิตรต่อ flask

11) standard 0.1 N. H_2SO_4 หรือ 0.1 N HCl

12) standard 0.1 N. NaOH หรือ boric acid 4% (Saturated)

13) ลูกแก้ว (Glass beads) 2-3 เม็ด ต่อ flask

14) กรด H_2SO_4 เข้มข้น 25 มิลลิลิตร ต่อ flask

1.3.2.2 วิธีวิเคราะห์

1) ชั่งตัวอย่างประมาณ 1-2 กรัม วางบนกระดาษชั่งสารชนิดที่ไม่มีไนโตรเจน พับกระดาษเพื่อห่อตัวอย่างใส่ลงใน kjeldahl digestion flask

2) เตรียม blank โดยทำเช่นเดียวกัน แต่ไม่ได้ใส่ตัวอย่างใส่เฉพาะกระดาษชั่งสาร

3) เติม catalyst mixture จำนวน 2 กรัม และลูกแก้ว 2 เม็ด ตวงกรด H_2SO_4 เข้มข้น จำนวน 25 มิลลิลิตร เทใส่ลงโดยค่อยๆ เทล้างตัวอย่างที่อาจจะติดข้างคอขวดลงไปด้วย เขย่าอย่างระมัดระวังให้กรดเปียกทั่วห่อตัวอย่าง

4) นำไปต้มย่อยบนเตาของเครื่องสำหรับย่อย โดยเปิดระบบดูดไอกรดให้เรียบร้อยก่อน จึงเปิดสวิตช์เตาให้ความร้อน ควรเปิดที่สวิตช์ไฟหมายเลข 2 (สังเกตพอให้กรดเดือดเบา ๆ) ระหว่างการย่อยให้คอยหมุนขวดเป็นครั้งคราวเพื่อให้กรดไหลชะตัวอย่างที่ติดตามข้างผนังขวดลงมาทำปฏิกิริยาได้หมด

5) ต้มย่อยตัวอย่างจนได้สารละลายใส หลังจากนั้นให้ต้มย่อยอีก 30 นาที ถึง 1 ชั่วโมง เพื่อให้การเกิดปฏิกิริยา oxidation นั้นสมบูรณ์ (ระวังถ้าตัวอย่างแห้งให้เริ่มทำใหม่)

6) หยุดให้ความร้อน รอให้เย็น เพื่อรอขั้นตอนการกลั่นต่อไป (ในกรณีที่จำเป็นต้องเอาขวดออกก่อนเย็น ให้ปิดปากขวดด้วยจุกยางเพื่อป้องกันไอกรดฟุ้งกระจาย)

7) เตรียมการกลั่นโดยใช้ pipette ดูด standard 0.1MH_2SO_4 (หรือแทนด้วย boric acid 4%) จำนวน75 มิลลิลิตร ใส่ลงใน erlenmeyer ขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วเติม screen methyl red indicator 4 หยด นำไปต่อเข้ากับชุดเครื่องกลั่นโปรตีน โดยใช้ปลายท่อของชุดควบแน่น (Condenser) จุ่มอยู่ใต้ระดับของสารละลายใน erlenmeyer flask

8) ทำเช่นเดียวกันกับทุกขวดตัวอย่าง รวมทั้ง blank จนเสร็จ

9) เตรียมชุดเครื่องกลั่นโปรตีนเปิดน้ำไหลผ่าน condenser ให้เย็น

10) เตรียมน้ำกลั่นประมาณ 300–400 มิลลิลิตร ลงใน kjedahl flask ที่ตัวอย่างถูกย่อยจนใสและเย็นแล้วค่อยๆ เทน้ำกลั่นโดยให้น้ำไหลชะล้างคอขวดลงพร้อมกับเอียงและหมุนขวดไปด้วย

11) เติม NaOH 45 % จำนวน 80 มิลลิลิตร ลงใน kjedahl flask ในลักษณะเอียงคอขวดให้ NaOH ค่อย ๆ ไหลไปตามข้างผนังขวด แล้วรีบนำไปปิดด้วยจุกยางที่ปลายท่อ condenser ของชุดเครื่องกลั่นหมุนเขย่า kjedahl digestion flask เบา ๆ เพื่อให้สารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน หยดน้ำกลั่นให้เป็นฟิล์มรอบบริเวณรอยต่อของจุกยางที่ติดกับปาก kjedahl digestion flask ก่อนวางบนเตาเพื่อป้องกันการรั่วของก๊าซ

12) ให้ความร้อนตัวอย่างจนแอมโมเนียถูกกลั่นออกมาใน erlenmeyer flask อย่างน้อย 200 มิลลิลิตร จึงหยุดให้ความร้อน เลื่อนไม้คอร์ดที่รองใต้ erlenmeyer flask ออกให้ปลายท่อค้างไว้เหนือระดับสารละลายสักครู่เพื่อให้ตัวอย่างที่ตกค้างในปลายท่อไหลออกหมด

13) ฉีดน้ำกลั่นชะล้างสารที่ติดอยู่รอบ ๆ ปลายท่อกลั่นก่อนที่จะยก erlenmeyer flask ออกแล้วจึงนำไปรอขั้นตอนการไตเตรทต่อ

14) ก่อนทำการไตเตรท ให้ล้างภายในระบบท่อของชุด condenser หลังกลั่นเสร็จโดยเติมน้ำกลั่นลงใน erlenmeyer flask อีกใบหนึ่งประมาณ 200 มิลลิลิตร นำไปสวมเข้ากับปลายท่อกลั่นแทนที่ขวดตัวอย่างที่กลั่นเสร็จแล้ว ปิดสวิตซ์เพื่อหยุดให้ความร้อน เมื่อ kjedahl digestion flask เย็นลงจะเกิดการดูดกลับของน้ำกลั่นขึ้นจาก erlenmeyer flask ชะล้างท่อ condenser และไหลเข้าสู่ kjedahl digestion flask และเนื่องจากแรงดูดน้ำกลับค่อนข้างแรงให้ระวัง kjedahl digestion flask จะถูกกระแทกตกจากเตาแตก

15) นำตัวอย่างที่กลั่นได้ไปทำการไตเตรทต่อโดยไตเตรท blank flask กับสารละลายมาตรฐาน 0.1 N. NaOH (หรือ 0.1 N. H_2SO_4 กรณีใช้ boric acid) จนกระทั่งสีของ indicator เปลี่ยนเป็นสีม่วงอมเทาหรือสีม่วงแดง คือ จุดสิ้นสุดปฏิกิริยา (End point) จดบันทึกปริมาตรของสารที่ใช้

16) ทำการไตเตรทตัวอย่าง เช่นเดียวกันกับ blank โดยใช้ blank เป็นตัวเทียบสีของจุดสิ้นสดปฏิกิริยา

1.3.2.3 การคำนวณ

$$\% \text{ ไนโตรเจน} = \frac{(H_2SO_4 \text{ ที่ไตรเตรทตัวอย่าง} - H_2SO_4 \text{ ที่ไตรเตรท blank}) \times 0.014 \times \text{Normal}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

$$\% \text{ โปรตีน} = \% \text{ ไนโตรเจน} \times 6.25$$

1.4 การวิเคราะห์หาเถ้าทั้งหมด (Total Ash)

1.4.1 หลักการและเหตุผล

เถ้าทั้งหมด (Total ash) ที่มีอยู่ในตัวอย่างอาหารหรือวัตถุดิบอาหารสัตว์ คือ ส่วนของอนินทรีย์สาร (Inorganic matter) ที่เหลืออยู่หลังจากที่อินทรีย์สาร (Organic matter) ได้ถูกเผาไหม้และสลายตัวเป็นแก๊สแล้ว จากเถ้าทั้งหมดเมื่อนำมาแยกโดยต้มกับกรดจะได้ส่วนของเถ้าที่ละลายในกรด (Acid soluble ash) และเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (Acid Insoluble Ash) อุณหภูมิในเตาเผา (Muffle furnace) ที่เหมาะสมคือ 550-570 °C ซึ่งถ้าอุณหภูมิสูงถึง 600 °C จะทำให้ chloride ซึ่งเป็นธาตุที่จะชี้ให้ทราบถึงปริมาณเกลือ (NaCl) ในตัวอย่างสูญสลายไป การเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะได้เถ้าที่มีสีขาวหรือสีเทาอ่อน การหยด ammonia carbonate 2-3 หยดจะช่วยให้เถ้าที่ยังไม่ขาวมีลักษณะสีขาวขึ้น

1.4.2 อุปกรณ์และสารเคมี

1) ถ้วยกระเบื้อง (Crucible) และคีมคีบ (Tong)

2) ตู้ดูดควันและตะเกียงบุนเซ่น

3) เตาเผา (Muffle furnace)

1.4.3 วิธีการวิเคราะห์

1) เผาถ้วยกระเบื้องในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550-570 °C นาน 1-2 ชั่วโมงวางให้เย็นในโถดูดความชื้น

2) ชั่งและบันทึกน้ำหนักถ้วยกระเบื้อง ตักตัวอย่างใส่ 2 กรัม ชั่งและบันทึกน้ำหนัก

3) นำถ้วยกระเบื้องพร้อมตัวอย่างไปเผาในตู้ดูดควันด้วยตะเกียงบุนเซ่นจนหมดควันตัวอย่างเป็นสีดำ

4) นำเข้าเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550- 570 °C นาน 2 ชม.จนเถ้าเป็นสีขาวหรือเทาอ่อน

5) หยด ammonium carbonate 2-3 หยดลงในเถ้าระเหยให้แห้ง เผาต่อในเตาจนได้เถ้าสีขาวใช้คีมคีบถ้วย วางไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งและบันทึกน้ำหนัก

6) นำถ้วยไปเผาต่ออีก 30 นาที วางไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งและบันทึกน้ำหนัก

7) หยดน้ำกลั่นลงในเถ้า 2-3 หยด เพื่อใช้วิเคราะห์ต่อ

1.4.4 การคำนวณ

$$\% \text{ เถ้าทั้งหมด (Total Ash)} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้าทั้งหมด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

1.5 การวิเคราะห์หาเยื่อใย (Crude Fiber)

1.5.1 หลักการและเหตุผล

เยื่อใยในอาหาร เยื่อใยในตัวอย่างวัตถุดิบหรืออาหารสัตว์ที่ใช้วิธีการวิเคราะห์โดยประมาณ จะได้ค่าวิเคราะห์ในรูปของปริมาณเยื่อใยทั้งหมดหรือเยื่อใยหยาบ (Crude Fiber; CF) ซึ่งคาร์โบไฮเดรต หรือ polysaccharides ในอาหารประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนที่เป็น CF หรือ structural carbohydrate และส่วนที่อยู่ในเซลล์ (Cell content หรือ Non-structural carbohydrate หรือ nitrogen-free-extracted (NFE) คาร์โบไฮเดรตส่วนที่ยังเป็นโครงสร้างนี้ การวิเคราะห์หา CF จะช่วยให้เห็นถึงปริมาณ structural carbohydrate หรือ cell wall ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยคาร์โบไฮเดรตส่วนแป้งและน้ำตาล (Nitrogen-Free-Extract, NFE)

เมื่อรวมส่วนเปอร์เซ็นต์ของ moisture, ash, CP, CF และ EE ที่วิเคราะห์ได้แล้วหักออกจาก 100 ค่าที่ได้คือ % NFE หรือ ปริมาณแป้งในตัวอย่างนั้น อย่างไรก็ตาม สารอินทรีย์ที่จัดว่าอยู่ในส่วนของ CF อาจมีบางอย่างที่ไปรวมอยู่ในส่วนของ NFE ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและความแก่อ่อนของตัวอย่างพืชอาหารที่นำมาวิเคราะห์

$$\% \text{ NFE} = 100 - (H_2O + EE + CF + CP + Ash)$$
$$= DM - (EE + CF + CP + Ash)$$

ข้อจำกัดในการวิเคราะห์เยื่อใยในตัวอย่างโดย weende's system หรือ proximate analysis คือ วิธีนี้เพียงชี้ให้เห็นถึงค่าทางโภชนะเพียงหยาบ ๆ (Crude nutrients) แต่ไม่ได้ระบุถึงปริมาณโภชนะแต่ละตัวที่มีอยู่ในอาหารนั้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1 สารประกอบที่มีในแต่ละค่าที่ได้จากการวิเคราะห์อาหารต่อวัตถุดิบอาหารโดย weende system หรือ proximate Analysis

Fraction	Component
Moisture	Water (and volatile acids and base if present)
Ash	Essential elements: Major : K, Mg, Na, S, Ca, P, Cl Trace : Fe, Mn, Cu, Co, I, Zn, Mo, Se, F, Br, Ba, Sr Non-Essential element : Si, Cr, Ni, Ti, Al, V, B, Pb, Sn
Crude Protein	Protein, amino acids, amines, nitrogenouse glycerides, glycerides, B vitamin (nitrates only partially)
Crude lipid	Fats, oils, waxes, organic acids, pigments, steroids, vitamin A,D,E,K
Crude Fiber	Cellulose, hemicellulose, lignin
Nitrogen-Free-Extracts	Starch, sugars, fructosanas, hemicellulose, pectin, Lignin, organic acids, resins, tannins, pigments, water-soluble vitamin

1.5.2 วิธีการวิเคราะห์

1.5.2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1) ชุดวิเคราะห์หาเยื่อใยซึ่งประกอบด้วย เตาให้ความร้อนและชุดควบแน่น (Condenser) ที่ใช้ควบคุมความเข้มข้นของกรด-ด่าง ในขณะต้มย้อยหาเยื่อใย

2) ชุดกรองเยื่อใย ประกอบด้วย เครื่องกรองและผ้ากรองหรือผ้าลินินบนกรวยกระเบื้อง (Buchner Funnel) ที่วางบนขวดรองรับ (Filtering flask) โดยอาศัยเครื่องปั๊มสูญญากาศ (Vacuum pump) หรือ suction pump ช่วยดูด

3) กระบอกแก้วชนิดขอบปากเรียบ สำหรับใส่ตัวอย่าง ขนาด 600 มิลลิลิตร

4) ถ้วยกระเบื้องหรือ gooch crucible ที่เผาไว้แล้ว และกระดาษแก้วสำหรับชั่งตัวอย่าง

5) น้ำกลั่นร้อน

6) H_2So_4 1.25% หรือ 0.255 $\pm$ 0.005 N.

7) NaOH 1.25% หรือ 0.255 $\pm$ 0.005 N.

8) แอลกอฮอล์ methanol 95%

9) ขวดฉีดน้ำกลั่นและช้อนเขี่ย (Spatula)

1.5.2.2 วิธีการวิเคราะห์

1) เผาถ้วยกระเบื้องและปล่อยไว้ให้เย็น ชั่งและจดบันทึกน้ำหนักถ้วยกระเบื้องที่จะใช้

2) ใช้กระดาษชั่งสาร ตักตัวอย่างประมาณ 2-3 กรัม ชั่งและจดบันทึกให้รู้น้ำหนักตัวอย่างโดยละเอียด แล้วเทตัวอย่างใส่ลงในกระบอกแก้วสำหรับย่อย

3) ตวง H_2So_4 1.25% ที่ได้ต้มใกล้เดือด 200 มิลลิลิตร ลงในกระบอกแก้ว ถ้าตัวอย่างมีแป้งสูงหรือละเอียดมาก ให้ใส่ใยแก้ว (Prepared asbestos) 1 กรัม นำไปต้ม บนเตาของชุดย่อยหาเยื่อใยที่เปิดน้ำผ่านระบบควบแน่น (Condenser) เพื่อช่วยควบคุมความเข้มข้นของกรดให้คงที่ (ถ้าตัวอย่างมีฟองมากหรือต้มแล้วกระโดดมากให้หยด antifoam 1 หยด และ bumping chip 2-3 ชิ้นลงไปด้วย) ต้มให้เดือดนาน 30 นาที และหยุดให้ความร้อนทันทีเมื่อเดือดครบ 30 นาที

4) รีบนำตัวอย่างออกจากเครื่องย่อย แล้วกรองทันทีด้วยชุดกรอง (กรณีที่เครื่องกรองไม่ว่าง ให้เติมน้ำกลั่นเพื่อลดปฏิกิริยาการย่อย) ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นร้อนจนหมดกรด (ทดสอบด้วยกระดาษ litmus)

5) ขูดกากลงในกระบอกแก้วเดิมโดยใช้ช้อนตักและ spatula ช่วยเขี่ย

6) เติม NaOH 1.25 % ที่ได้ต้มใกล้เดือดจำนวน 200 มิลลิลิตร แล้วรีบนำกลับเข้าต้มในเครื่องย่อยให้เดือดเป็นเวลา 30 นาที หยุดให้ความร้อนทันที แล้วรีบนำไปกรอง

7) ตัวอย่างที่นำออกจากเครื่องย่อย ต้องรีบกรองสารละลายด่างออกเช่นเดียวกับข้อ 2 ล้างกากที่เหลือด้วยน้ำร้อนจนหมดด่าง และล้างด้วย alcohol 20-25 มิลลิลิตร ขูดถ่ายกากใส่ในถ้วยกระเบื้องที่ได้ชั่งน้ำหนักไว้แล้ว

8) นำกากที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 1-2 ช.ม. หรือ 1 คืน จนแห้ง นำออกจากตู้อบปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งและบันทึกน้ำหนักโดยละเอียด (ชั่งน้ำหนักได้คงที่)

9) นำไปเผ่าต่อที่อุณหภูมิ 500±15 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น นำออกชั่งและบันทึกน้ำหนัก

1.5.2.3 วิธีการคำนวณ

$$\% \text{ เยื่อใยทั้งหมด} = \frac{A - B}{C} \times 100$$

A = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องรวมกากหลังจากอบแห้ง

B = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องรวมเถ้าหลังจากเผา

C = น้ำหนักตัวอย่าง

2. การวิเคราะห์ภูมิคุ้มกันรวม (Total Immunoglobulin) (ดัดแปลงจากวิธีการของ Amar et al. 2004)

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

1) Auto Micropitett

2) หลอด eppendorf

3) Vortex

4) เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge)

5) Plate 96 well

6) เครื่อง ELISA

2.2 สารเคมี

1) Polythylene glycol (PEG) 24 เปอร์เซ็นต์

-ชั่ง Polythylene glycol 24 กรัม และเติมน้ำ DI ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2) ชุดทดสอบโปรตีน (Biuret method, Biotech reagent)

2.3 การเตรียมกราฟมาตรฐานโปรตีน

1) ใช้ Protein standard ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 6.0 g/dl (ที่บรรจุอยู่ในกล่องชุดทดสอบโปรตีน)

2) ทำการเจือจาง Protein standard ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน (DI) ให้สารละลายมีความเข้มข้นเท่ากับ 0 1 2 4 และ 6 g/dl หลังจากนั้นดูดสารละลายลงใน Plate 96 well หลุมละ 150 ไมโครลิตร แล้วทำการวัดค่า Absorbance ที่ความยาวคลื่นแสง 550 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง ELISA แล้วนำมาเขียนกราฟมาตรฐาน Protein standard

2.4 วิธีการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ภูมิคุ้มกันรวมจะทำได้โดยอาศัยหลักการหาค่าส่วนต่างระหว่างโปรตีนในพลาสมาทั้งหมดกับโปรตีนที่ตกตะกอนด้วย Polyethylene glycol (PEG) ซึ่ง PEG มีคุณสมบัติในการจับกับโปรตีนชนิดโกลบูลิน ดังนั้น ค่าส่วนต่างที่ได้ก็จะเป็นภูมิคุ้มกันรวม (Total Immunoglobulin)

1) ทำการตกตะกอนพลาสมา โดยนำพลาสมาใส่ลงในหลอด eppendorf 10 ไมโครลิตร และใส่ PEG 24 เปอร์เซ็นต์ 10 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย Vortex แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบเท่ากับ 12500 rpm อุณหภูมิ 4°C นาน 10 นาที แล้วทำการดูดส่วนใสออกมาใส่หลอด eppendorf หลอดใหม่

2) นำเอาส่วนใสที่ได้จาก ข้อ 1) และพลาสมาที่ไม่ได้ทำการตกตะกอน มาทำการทดสอบด้วยชุดทดสอบโปรตีน โดยใส่ตัวอย่างที่ต้องการทดสอบลงในหลอด eppendorf เป็นจำนวน 5 ไมโครลิตร และเติม Biuret reagent ลงในหลอดตัวอย่างจำนวน 300 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย Vortex และตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดค่า Absorbance ที่ความยาวคลื่นแสง 550 นาโนเมตร โดยใช้ Blank ปรับ 0

3) นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานซึ่งทราบความเข้มข้นของโปรตีนที่แน่นอน

2.5 การคำนวณ

Total immunoglobulin = A-B

เมื่อ A คือ ความเข้มข้นของโปรตีนในพลาสมาที่ผ่านการตกตะกอน×2

B คือ ความเข้มข้นของโปรตีนในพลาสมาที่ไม่ผ่านการตกตะกอน

3. วิธีการวัดค่า pH meter (ตามวิธีการของ Benjakul and Bauer, 2001)

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1) เครื่อง pH meter

2) Magnetic bar

3) บีกเกอร์

4) เครื่อง plate stirrer

5) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.2 วิธีการ

1) ทำการตรวจสอบเครื่องโดยการตั้งค่า AUTO CALIBRATION WITH TWO BUFFERS โดยเสียบขั้ว electrode เข้ากับตัวเครื่อง เลือก buffer 2 ค่า ให้ครอบคลุมช่วง pH ของตัวอย่าง ที่จะทำการวัด โดยค่าทั้ง 2 ต่างกันไม่เกิน 3 pH Unit

2) ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดให้เป็นเนื้อเดียวกัน 10 กรัม ลงในบีกเกอร์และผสมด้วยน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร ใส่ Magnetic bar ลงในบีกเกอร์ปั่นให้เข้ากันด้วยเครื่อง plate stirrer

3) นำ electrode ของ pH จุ่มลงในตัวอย่าง รอจนค่านิ่ง แล้วจึงบันทึกค่า pH

4. วิธีการวัดค่าสีของเนื้อ (ตามวิธีของ Hunter, 1987)

4.1 วัสดุและอุปกรณ์

1) เครื่อง Hunter Lab ยี่ห้อ Color Quest XE Spectrophotometer (Hunter Associates Laboratory Inc., Virginia, USA)

2) กระดาษชำระชนิดหนา

4.2 วิธีการ

1) เปิดโปรแกรม universal

2) ทำการปรับค่ามาตรฐานโดยเทียบกับแผ่นเทียบสี (Standardzation) ดังนี้

- กดปุ่มคำสั่ง cal standardize

- เลือกขนาดช่องวางตัวอย่าง (Port size) โดยปกติจะต้องเลือกขนาด 8 มิลลิเมตร แล้วกดปุ่ม OK หน้าจอจะแสดง "Please place the Black Glass at the reflectance port/OK" ให้ทำการวางแผ่นเทียบแผ่นสีดำลงบนช่องด้านบนของเครื่องวัดแล้วกดปุ่ม OK

- หลังจากนั้นหน้าจอจะแสดง "Please place the white standard tile at the reflectance port/OK" ให้ทำการวางแผ่นเทียบสีขาวลงบนช่องด้านบนของเครื่องวัดและกดปุ่ม OK

- เมื่อเครื่องทำการปรับตั้งค่าเรียบร้อย จะแสดง "Sensor successfully standardized/OK" หลังจากนั้นทำการกดปุ่ม OK ซึ่งควรมีการทำการ standardized ทุกครั้งที่มีการเปิดเครื่องใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- ทำการกำหนดค่าสีมาตรฐานโดยเรียกหน้าต่าง master color data window เพื่อแสดงค่าสีที่วัดได้ แล้ววางแผ่น standard ที่ต้องการกำหนดค่า แล้วกดปุ่มคำสั่ง read std. เพื่อกำหนดค่าที่อ่านให้เป็นมาตรฐานและเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าตัวอย่าง

3) นำตัวอย่างเนื้อที่มีความกว้างXยาวXหนา เท่ากับ 3X3X1 เซนติเมตร วางลงบนช่องวางตัวอย่างให้แนบสนิท แล้วกดปุ่มคำสั่ง read sam. เพื่ออ่านค่าตัวอย่าง

4) ใส่รายละเอียดตัวอย่างที่ต้องการวัด แล้วกดปุ่ม OK ค่าที่อ่านได้จะแสดงในบรรทัดของ sample

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัตินักวิจัย

1. ชื่อ: (ภาษาไทย) อ.ดร. สมร พรชื่นชูวงศ์

(ภาษาอังกฤษ) Dr. Samorn Ponchunchoovong

2. ตำแหน่งปัจจุบัน: อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3. สถานที่ติดต่อ:

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จ.นครราชสีมา 30000 Tel: (044) 224377-8 Fax: (044) 224150

E-mail: samorn@sut.ac.th

4. ประวัติการศึกษา:

Degree	Institution	Year	Country
B.Sc. (Biology)	Prince of Songkhla University	1992	Thailand
M.Sc. (Zoology)	Chulalongkorn University	1995	Thailand
Ph.D (Aquaculture)	Asian Institute of Technology	2003	Thailand

5. สาขาวิชาการที่ชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา):

- Cryopreservation of fish spermatozoa
- Aquaculture (seed production)

6. ผลงานวิจัย: Selected Publication

Kwantong, S. and Bart, A. N. 2003. Effect of cryoprotectants, extenders and freezing rates on the fertilization rates of frozen striped catfish, *Pangasius hypophthalmus* (Sauvage), sperm. Aquaculture research, 34: 887-893.

Kwantong, S. and Bart, A. N. 2006. Cryopreservation of black eared catfish, *Pangasius larnaudii* sperm. Aquaculture research, 37: 955-957.

Ponchunchoovong, S. 2008. Effects of freezing rates on the cryopreservation of striped catfish, *Pangasius hypophthalmus* (Sauvage, 1878) sperm. Proceedings "The 13th Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. September 22-26, 2008, Hanoi, Vietnam. P. 406.

Kwantong, S. and Bart, A. N. 2009. Fertilization efficiency of cryopreserved sperm from striped catfish, *Pangasius hypophthalmus* (Sauvage). Aquaculture Research, 40: 292-297.

Dokpong, D., **S. Ponchunchoovong**, U. Amsin, U. Piasoongnoen & S. Singhae. 2009. The effect of freezing Rates on the cryopreservation of Small scale mud carp, *Cirrhinus microlepis* (Sauvage, 1878) sperm. Proceedings 2nd International conference on sustainable animal agriculture for developing countries 8-11 November, 2009. Kuala Lumpur, Malaysia. P. 268-270.

Nipon, S., R. Yahsiro , S. Tunkijjanukij and **S. Ponchunchoovong** . 2009. Preservation of Humpback Grouper, *Cromileptes altivelis* (Valenciennes, 1828) Spermatozoa. Kasetsart University Fisheries research Bulletin Vol. 33(2): May, 2009. p. 12-23.

Samorn, P., Duangchan. D., Unnop, I., Uraiwan, P. and Sombut, S. 2010. The effect of dilution ratios on short-term storage of Small scale mud carp, *Cirrhinus microlepis* (Sauvage, 1878) sperm. Proceedings "The 14 th Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies (AAAP). August 23-27, 2010, Pingtung Taiwan, ROC P. 322.

Ponchunchoovong, S. and Plime S. 2010. Effect of combinations of cryoprotectants and freezing rates on cryopreservation of the spermatozoa of Striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage, 1878). Kasetsart J. (Nat. Sci.) 44: 1153-1161.

Ponchunchoovong, S., D. Dokpong, U. Imsilp, U. Piasoongnoen& S. Singsee. 2011.Fertilization efficiency of fresh and frozen sperm from Small scale mud carp, *Cirrhinus microlepis* (Sauvage, 1878). Proceedings 3rd International conference on sustainable animal agriculture for developing countries. 26-29 July, 2011. Nakhon Ratchasima, Thailand. P.75.

Vechklang, K., S. Boonanuntanasarn, **S. Ponchunchoovong**, N. Pirarat & C. Wanapu. 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. P. 1365-2095.

Ponchunchoovong, S., S. Kainin, U. Imsilp & U. Piasoongnoen. 2011. The effect of freezing procedures on the cryopreservation of Mekong catfish, *Pangasius bocourti* sperm. World academy of science, engineering and technology. 24-26 August, 2011. Paris, France. P.1257-1261.

Samorn Ponchunchoovong. 2011. Cryopreservation of *Pangasius* spp. Spermatozoa. Germany. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. 65 pp.

Kainin, S. **Ponchunchoovong, S.**, U. Imsilp & S. Singsee. 2012. Cryopreservation of Mekong catfish, *Pangasius bocourti* Sauvage, 1880 spermatozoa. **Aquaculture research: 1-9.**

Thipsuda Boonmatan, Samorn **Ponchunchoovong,** Theerachai chormai, Thevin Vongpralub. 2013. Effect of extenders on preservation of native chicken "Luang hang kao" spermatozoa. International Conference on Engineering and Applied Science. November 2013, Osaka, Japan. P. 2033-2038.

Jiraporn P., **Ponchunchoovong, S.** & Payooha, K. 2014. Partial replacement of fish meal by brewer's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) in diets for Thai Panga (*Pangasianodon hypophthalmus* × *Pagasius bocourti*) juveniles. *Aquaculture Nutrition* DOI: 10.1111/anu.12280.

Kainin, S. **Ponchunchoovong, S.**, U. Imsilp & S. Singsee. 2014. Cryopreservation of Mekong catfish, *Pangasius bocourti* Sauvage, 1880 spermatozoa. Aquaculture Research, 45: 859-867.

Ladoktha, P., **Ponchunchoovong, S.** and Udomkarn, C. 2015. Effect of activators solutionon motility and fertilization of frozen black shark, *Labeo chrysophekadion* spermatozoa. BioEvolution, 2(62-65).

Tangpakdeewijit, S., **S. Ponchunchoovong** and T. Vongpralub. 2015. Effect of extenders on frozen semen quality of Thai native chicken (Lueng hang kao). KHON KAEN AGR. J. 43 SUPPL. 2: 86-89.

7. งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ

1. การพัฒนาและการเพิ่มประสิทธิภาพน้ำเชื้อแช่แข็งไก่พื้นเมืองพันธุ์เหลืองหางขาว
(เป็นผู้หัวหน้าโครงการวิจัย รับผิดชอบโครงการวิจัย 80%)

ประวัติผู้ร่วมวิจัย (1)

1. ชื่อ- นามสกุล (ภาษาไทย) นายโชคชัย วนภู

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Chokchai Wanapu

2. ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์

3. หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้

สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.เมือง จ. นครราชสีมา 30000 โทร 044-22-4234 โทรสาร 044-224-154
E-mail: wanapu@sut.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

Degree	Institution	Year	Country
B.Sc. (Chemistry)	Department of Chemistry, Faculty of Science, Chiangmai University	1982	Thailand
M.Sc. (Biochemistry)	Department of Biochemistry, Faculty of Science, Mahidol University	1984	Thailand
Ph.D (Engineering in Biotechnology)	Department of Biotechnology, Faculty of Engineering, Osaka University	1994	Japan

5. สาขาวิชาที่มีความชำนาญการพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา):

- Plant and microbial molecular genetics.
- Fermentation Techniques.
- Alcohol Beverage Production.

6. ประสบการณ์วิจัย:

Intapruk, C., Tirawanchai, N., Wilairat, P. and Panyim, S. (1984) Application of cloned malaria parasite DNA in strain identification. Mahidol University Annual Research Abstracts 11, 297.

Intapruk, C. (1984) in Manual for international laboratory workshop "Genetic engineering techniques in tropical diseases research" to be published by WHO special programme for research and training in tropical diseases, 195-204.

Wilairat, P., Tirawanchai, N., **Intapruk, C.,** Tungpradubkul, S. and Panyim, S. (1984) Strain characterization of human malaria parasite, Plasmodium falciparum, by the use of a cloned parasite DNA probe. Microbial utilization of renewable resources. 4, 210-213.

Tirawanchai, N., **Intapruk, C.,** Wilairat, P., Yuthavong, Y. and Panyim, S. (1985) Cloning of repetitive DNA from Plasmodium falciparum and its use in strain and species identification. Mahidol University Annual Research Abstracts, 12, 250.

Intapruk, C. (1985) in Manual for national laboratory workshop "DNA cloning techniques" (in Thai) to be published by the National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, the Ministry of Science and Technology, 172-188.

Wilairat, P., Tirawanchai, N., **Intapruk, C.,** Tungpradabkul, S., Sertsrivanich, R., Panyim, S., Yuthavong, Y. (1985) Recombinant DNA techniques as potential diagnostic means. Ann. Ist. Super. Sanita. 21, 299-305.

Sriroongrueng, W. and **Intapruk, C.** (1989) The prenatal diagnosis of thalassemias (in Thai). Songkla Med J. 6, 428-435.

Intapruk C., Higashimura N., Yamamoto K., Okada N., Shinmyo A. and Takano M. (1991) Nucleotide sequences of two genomic DNAs encoding peroxidase of Arabidopsis thaliana. Gene 98: 237-241.

Intapruk C., Yamamoto K., Fujiyama K., Shinmyo A. and Takano M. (1993) Cloning of cDNAs encoding two peroxidases of Arabidopsis thaliana. J Ferment Bioeng 75: 166-172.

Shinmyo A., Fujiyama K., Kawaoka A. and **Intapruk C.** (1993) Structure and expression of Peroxidase isozyme genes in horseradish and Arabidopsis. In: KG Welinder, SK Rasmussen, C Penel and H Greppin, eds, Plant Peroxidases Biochemistry and Physiology. Univ Geneva, Switzerland, pp 222-228.

Intapruk C., Yamamoto K., Sekine M, Shinmyo A. and Takano M (1994) Regulatory sequences involved in the peroxidase gene expression in Arabidopsis thaliana. Plant Cell Reports 13: 123-129.

Intapruk C., Takano M and Shinmyo A (1994) Nucleotide sequence of a new cDNA for peroxidase from Arabidopsis thaliana. Plant Physiol. 104: 285-286.

Wanapu C and Shinmyo A (1996) cis-Regulatory of the peroxidase gene in Arabidopsis thaliana involved in root specific expression and responsiveness to high-salt stress. Ann New York Acad Sci. 782 (12): 107-114.

Rodtong, S.; **Wanapu, C.** and Ishizaki, A. (2000) Starch-utilizing bacteria for L-lactic acid production. The 12th Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology. 52. Cheunkum, O. and **Wanapu, C.** (2002) Production of Lactic acid from cassava solid waste.The 3rd National Symposium on Graduate Research.633-634.

Sripo, T., Phongdara, A., **Wanapu, C.** and Caplan, A.B. (2002) Screening and characterization of aldehyde dehydrogenase gene from Halomonas salina strain AS11. J. Biotech. 95, 171-179.

Kuapunyakoon, T. and **Wanapu, C.** (2003) Effects of diammonium phosphate (DAP) supplementation on growth rate and ethanol production of Saccharomyces cereviseae K1-V1116 in tamarind wine. Suranaree J. Sci. Technol. 10: 147-151.

Sripunya, P., **Wanapu, C.** and Boonkerd, N. (2004) Effect of β-glucosidase enzyme in *Saccharomyces cerevisiae* strains on aroma production mango (Chok-anan) wine fermentation. Thai J. Biotech. (accepted).

ประวัติผู้ร่วมวิจัย (2)

1. ชื่อ- นามสกุล: (ภาษาไทย) นางสาว กาญจนา พยุหะ

(ภาษาอังกฤษ) Miss Kanjana Payooha

2. ตำแหน่งปัจจุบัน: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 8

3. สถานที่ติดต่อ:

สาขาวิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ. วา รินชำราบ จ. อุบลราชธานี 34190 โทรศัพท์ 045-353507 01-8793400 โทรสาร 045-288373

E-mail address : kan@agri.ubu.ac.th

4. ประวัติการศึกษา:

5.1. ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาประมง ปีที่จบ พ.ศ.2532 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.2. ปริญญาโท วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การประมง ปีที่จบ พ.ศ. 2535 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.3. ปริญญาเอก (D.Tech. Sc.) สาขา Aquaculture ปีที่จบ พ.ศ. 2545 สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (Asian Institute of Technology: AIT)

การอบรมดูงาน:

1. การอบรมชั้นสูงในการทำวิจัยสาขาโภชนศาสตร์สัตว์น้ำ (Advanced Training in Fish Nutrition Research) ที่ มหาวิทยาลัย Deakin เมือง Warrnambool ประเทศออสเตรเลีย ตุลาคม-พฤศจิกายน 2545

2. การอบรมเรื่อง Aquatic Animal Health and Immunology ที่มหาวิทยาลัย Sterling เมือง Sterling ประเทศอังกฤษ ตุลาคม-พฤศจิกายน 2547

3. วิทยากรฝึกอบรมเรื่อง Identification of Macroinvertebrate ที่ Department of Fisheries, Phnom Penh , ประเทศกัมพูชาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ พฤษภาคม 2548 จัดโดย MRC (Mekong River Commission)

4. วิทยากรอบรมหัวข้อ Fish disease ในการอบรมเรื่อง Ornamental fish culture and management สำหรับนักวิชาการจาก University of Kelaniya ประเทศศรีลังกา ซึ่งเป็นโครงการภายใต้การสนับสนุนของ World Bank จัดอบรมที่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี กรกฎาคม-สิงหาคม 2548

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา):

- โภชนศาสตร์สัตว์น้ำ
- โรคสัตว์น้ำ
- ชีววิทยาสัตว์หน้าดิน

6. ประสบการณ์เกี่ยวกับงานวิจัย:

1. เป็นนักวิจัยร่วมในโครงการ การพัฒนาศักยภาพส่วนสกัดจากหนอนตายอยากเป็นผลิตภัณฑ์รักษาโรคและฆ่าแมลง 2544

2. เป็นนักวิจัยร่วมในโครงการศึกษาและฟื้นฟูทรัพยากรประมงของลำน้ำมูลและพื้นที่ชุ่มน้ำโดยรอบอันเนื่องมาจากผลกระทบของการสร้างเขื่อนปากมูล โดยรับผิดชอบในการศึกษาสัตว์หน้าดิน ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากคณะอนุกรรมการพิจารณาผลกระทบอันเนื่องมาจากผลกระทบของการสร้างเขื่อนปากมูล สำนักนายกรัฐมนตรี เริ่ม ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2544-กันยายน 2545

3. เป็นนักวิจัยร่วมในโครงการ การศึกษาการจัดการและเทคนิคการเลี้ยงปลาสวายและปลาตะเพียนเพื่อให้ได้คุณภาพเนื้อที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูป 2545-2546

4 .ผู้อำนวยการแผนงานวิจัยการพัฒนาปลาพื้นเมืองสกุล *Pangsius* สำหรับเป็นปลาสวยงามและสำหรับบริโภค 2548-2550

5. หัวหน้าโครงการวิจัยการศึกษาเชิงบูรณาการเพื่อพัฒนาการเลี้ยงปลาสวายโมงเพื่อการส่งออก 2551

6. หัวหน้าโครงการวิจัยการทดแทนปลาป่นด้วยผลผลิตจากการหมักขนไก่ด้วยยีสต์ 2551

7. ผู้ร่วมโครงการวิจัยการศึกษาการเกิดโรคปลาที่เลี้ยงในกระชังในแม่น้ำมูล 2551

6.1 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

กาญจนา พยุหะ, ชลอ ลิ้มสุวรรณ, สุปรานี ชินบุตร, พรเลิศ จันทร์ชกูล. 2536 การตกค้างของออกโซลินิคแอซิดในกุ้งกุลาดำ. *ใน*การประชุมวิชาการประจำปี 2536 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กาญจนา พยุหะ ปราณีต งามเสน่ห์, ธนาทิพย์ แหลมคม, ทวนทอง จุฑาเกตุ, ชัยวุฒิ กรุดพันธุ์. 2545. การศึกษาความหลากหลายของสัตว์หน้าดินในลุ่มน้ำมูลช่วงเปิดประตูเขื่อนปากมูล. *ใน*โครงการศึกษาวิจัยแนวทางการฟื้นฟูระบบนิเวศ วิถีชีวิต และชุมชนที่ได้รับผลกระทบจากเขื่อนปากมูล เสนอ คณะกรรมการแก้ไขปัญหาสมัชชาคนจน สำนักนายกรัฐมนตรี.

ทวนทอง จุฑาเกตุ และ **กาญจนา พยุหะ**. 2547. การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์. *ใน* ผลงานวิจัยเอกสารเรื่อง เกษตร อินทรีย์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 278 หน้า.

ชัยวุฒิ กรุดพันธุ์ **กาญจนา พยุหะ** ปราณีต งามเสน่ห์, ธนาทิพย์ แหลมคม, ทวนทอง จุฑาเกตุ จรุงจิต

กรุดพันธ์ และ อัจฉรา รัตนชัย. 2547. ความหลากหาลายทางชีวภาพของพรรณปลาน้ำจืดที่พบในแม่น้ำมูลและแม่น้ำโขงตอนล่าง. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ปีที่ 22 ฉบับพิเศษ ธันวาคม 2547.

กาญจนา พยุหะ, ปราณีต งามเสน่ห์, ธนาทิพย์ แหลมคม, ทวนทอง จุฑาเกตุ, ชัยวุฒิ กรุดพันธุ์ 2548. สัตว์หน้าดินในแม่น้ำมูลและลำน้ำสาขาในช่วงการเปิดประตูเขื่อนปากมูล วารสารการประมง ปีที่ 58 ฉบับที่ 4 เดือนกรกฎาคม-สิงหาคม

Jutagate, T., Krudphan, C., Ngamsnae, P., **Payooha, K.** and Lamkom, T. 2003. Fisheries in the Mun River: a one-year trial of opening the sluice gates of the Pak Mun Dam. *Kasetsart Journal of Science and Technology. In press*

Payooha, K., Praneet Ngamsnae, Chaiwut Grudphan, Thanatip Lamkom and Tuantong Jutagate. 2004. Benthic fauna in the Mun river and its tributaries during the opening of the sluice gates of the Pakmun dam, p180. *In* Abstracts of the 7 th Asian Fisheries Forum, 30 November-4 December 2004, Penang, Malaysia .

Payooha, K. and Amararatne Yakupitiyage. 2004 Impact of feeding strategies on the growth and body composition of striped catfish *Pangasius hypopthalmus,* p 18. *In* Abstracts of the 7 th Asian Fisheries Forum, 30 November-4 December 2004, Penang, Malaysia .

Praneet Ngamsnae, **Kanjana Payooha**, Chaiwut Grudphan, Thanatip Lamkom and Tuantong Jutagate. 2005 Water quality suitability for development of floating net cage culture in the lower part of Mun river. Poster display *In* Abstracts of the 7 th Technical Symposium on Mekong Fisheries,15-17 November 2005, Ubonratchathani Thailand.

Payooha, K., Jitra Simawan and Chutima Tongkaew. 2007. Current status of *Pangasius spp*. Cage culture in the Mune river in Thailand : Effect of different feeds on fillet composition and flesh quality of different *Pangasius* species cultured in both cages and earth pond. *In* Abstracts of the 8 th Asian Fisheries Forum, 20-23 November 2007, Kochi, India.

Payooha, K. and Amararatne Yakupitiyage. 2007. Effect of feeding rate and frequency on growth and body composition of striped catfish (*Pangasius hypophthalmus*). *In* Abstracts of the 8 th Asian Fisheries Forum, 20- 23 November 2007, Kochi, India.

Payooha, K., Jitra Simawan, Chamnan Kaew manee and Chutima Thongkaew. 2008. Effect of dietary carbohydrate on growth performance and flesh quality of black ear catfish (*Pangasius larnaudii*). *In* Abstracts of the International Symposium " Sustaining fish diversity, fisheries and aquacultures in the MekongBasin"3 rd -5th September 2008, Ubon Ratchthathani Thailand.

Payooha, K. and Amararatne Yakupitiyage. 2008. Effect of fasting and iced storage on flesh quality of striped catfish *Pangasius hypopthalmus* from commercial farm in Thailand. *In* Abstracts of the International Symposium "Sustaining fish diversity, fisheries and aquacultures in the MekongBasin"3 rd -5th September 2008, Ubon Ratchthathani Thailand.

6.2 งานวิจัยที่กำลังทำ

1. หัวหน้าโครงการวิจัยอัตราส่วนโปรตีนและพลังงานที่เหมาะสมสำหรับปลากดคัง
2. ผู้ร่วมโครงการวิจัยการเกิดโรคในปลาสวยงามในเขตจังหวัดรอยต่อชายแดนไทย-ลาว อุบลราชธานี และมุกดาหาร

ประวัติผู้ร่วมวิจัย (3)

1. ชื่อ – นามสกุล: (ภาษาไทย) นางสาว กุณฑิกา เวชกลาง

(ภาษาอังกฤษ) Miss Kunthika Vechklang

2. ตำแหน่งปัจจุบัน: อาจารย์

3. สถานที่ติดต่อ:

สาขาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน 744 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ 044-233000 ต่อ 4361 โทรสาร 044-233072

E-mail: kunthikar@hotmail.com

4. ประวัติการศึกษา

Degree	Institution	Year	Country
B.Sc. (Chemistry)	Nakhon Ratchasima Rajabhat University	1999	Thailand
M.Sc. (Biology Education)	Mahasarakham University	2004	Thailand
Ph.D (Biotechnology)	Suranaree University of Technology	2010	Thailand

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

- สาขาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
- จุลชีววิทยา

6. ประสบการณ์วิจัย:

6.1 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

K. **Vechklang**., S. Boonanuntanasarn., S. Ponchunchoovong., N. Pirarat and C. Wanapu. (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. Accepted on March 16, 2011(DOI: 10.1111/j.1365-2095.2011.00870.x)

6.2 ผลงานอื่นๆ

K. **Vechklang**., S. Boonanuntanasarn., S. Ponchunchoovong., N. Pirarat and C. Wanapu. (2011). Utilization of rice wine residual in a practical diet for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus)* Effect on growth performance, fillet composition and intestinal morphometry. In Proceedings SAADC2011. (pp. 71) Nakhon Ratchasima, Thailand, July 26-29, 2011.

ประวัติผู้ร่วมวิจัย (4)

1. **ชื่อ- นามสกุล** (ภาษาไทย) นาย จิรวัฒน์ ยงสวัสดิกุล
   (ภาษาอังกฤษ) Mr. Jirawat Yongsawatdigul
2. **ตำแหน่งปัจจุบัน** รองศาสตราจารย์
3. **หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้**
   สาขาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ. นครราชสีมา 30000 โทร 044-22-4359 โทรสาร 044-224-387
   E-mail: jirawat@sut.ac.th
4. **ประวัติการศึกษา**

ปีที่จบ	ระดับปริญญา	อักษรย่อ	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบันศึกษา	ประเทศ
2532	ปริญญาตรี	วท.บ.(วิทยาศาสตร์บัณฑิต) เกียรตินิยมอันดับ 2	เทคโนโลยีอาหาร	เทคโนโลยีอาหาร	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ไทย
2535	ปริญญาโท	M.S. (Master of Science)	Food Science	Food processing	University of Wisconsin-Madison	สหรัฐอเมริกา
2539	ปริญญาเอก	Ph.D. (Doctor of Philosophy)	Food Science and Technology	Seafood chemistry	Oregon State University	สหรัฐอเมริกา

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

- Food proteins
- Food enzymes

6. ผลงานวิจัย (selected publication)

Yongsawatdigul, J., Sinsuwan, S. 2007. Aggregation and conformational changes of tilapia actomyosin as affected by calcium ion during setting. Food Hydrocolloids. 21: 359-367.

Yongsawatdigul, J. and Piyadhammaviboon, P. 2007. Gel enhancing effect and protein cross-linking ability of tilapia sarcoplasmic proteins. J. Sci Food Agric. 87:2810-2816.

Sinsuwan, S., Rodtong, S., **Yongsawatdigul, J.** 2007. NaCl-activated extracellular proteinase from *Virgibacillus* sp. SK37 isolated from fish sauce fermentation J. Food Sci. 72:C264-C269.

Panpipat, V, **Yongsawatdigul, J.** 2008. Stability of potassium iodide and omega-3 fatty acids in fortified freshwater fish emulsion sausage. LWT-Food Sci Tech. 41:483-492.

Yongsawatdigul, J., Rodtong, S., Raksakulthai, N. 2007. Acceleration of Thai fish sauce fermentation using proteinases and bacterial starter culture. J. Food Sci. 72: M382-M390.

Park, J.D., **Yongsawatdigul, J.,** Choi, Y.J., Park, J.W. 2008. Biochemical and conformational changes of myosin purified from Pacific sardine at various pHs. J. Food Sci. 73:C191-197.

Sinsuwan, S., Rodtong, S., **Yongsawatdigul, J.** 2008. Production and characterization of NaCl-activated proteinases from *Virgibacillus* sp. SK33 isolated from fish sauce fermentation. Process Biochem. 43:185-192.

Sinsuwan, S., Rodtong, S., **Yongsawatdigul, J.** 2008. Characterization of Ca^{2+}-activated cell-bound proteinase from *Virgibacillus* sp. SK37 isolated from fish sauce fermentation. LWT-Food Sci Tech. 41: 2166-2174.

Hemung, B and **Yongsawatdigul, J. 2008** Partial purification and characterization of transglutaminase from threadfin bream (*Nemipterus* sp.) liver. J. Food Biochem. 32:182-200.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Hemung, B, Li-Chan, E.C.Y. and **Yongsawatdigul, J.** 2008 Thermal stability of fish natural actomyosin affects reactivity to cross-linking by microbial and fish transglutaminases. Food Chem. 111(2): 439-446.

Hemung, B, Li-Chan, E.C.Y. and **Yongsawatdigul, J.** 2008. Reactivity of fish and microbial transglutaminases on glutaminyl sites of peptides derived from threadfin bream myosin. J. Agric. Food Chem. 56(16): 7510-7516.

Piyadhammaviboon, P. and **Yongsawatdigul, J.** 2009. Protein cross-linking ability of sarcoplasmic proteins extracted from threadfin bream. LWT-Food Science and Technology. 42(1): 37-43.

Hemung, B, Li-Chan, E.C.Y. and **Yongsawatdigul, J.** 2009. Identification of glutaminyl sites on β-lactoglobulin for threadfin bream liver and microbial transglutaminase activity by MALDI-TOF mass spectrometry. Food Chem. 115: 149-154.

Tadpitchayangkoon, P. and **Yongsawatdigul, J.** 2009. Comparative study of washing treatments and alkali extraction on gelation characteristics of striped catfish (*Pangasius hypophthalmus*) muscle protein. J. Food Sci. 74(3): C284-C291.

Sinsuwan, S., Rodtong, S., Yongsawatdigul, J. 2009. A NaCl-stable serine proteinase from *Virgibacillus* sp. SK33 isolated from Thai fish sauce. Food Chem. 10.1016/j.foodchem.2009.06.064.

6.1. งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อแผนงานวิจัย และ/หรือโครงการวิจัย และสถานภาพในการทำวิจัย

1. การใช้ประโยชน์จากปลาน้ำจืด ดำเนินการไปแล้ว 50%
2. การใช้เอนไซม์จากปลาและกล้าเชื้อในการหมักน้ำปลา ดำเนินการไปแล้ว 50%

ประวัติผู้ร่วมวิจัย (5)

1. ชื่อ-สกุล: (ภาษาไทย) นายสัตวแพทย์ ดร. นพดล พิษารัตน์

(ภาษาอังกฤษ) Dr. Nopadon Pirarat

2. ตำแหน่งปัจจุบัน: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8

3. สถานที่ติดต่อ:

ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์ 0-2218-9618 โทรสาร 0-2252-0779

E-mail: piraratnop@hotmail.com

4. ประวัติการศึกษา:

2541 สัตวแพทยศาสตรบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2543 Certificate in Training Program for Asian Veterinarians Japan Veterinary Medical Association, Japan

2543 Certificate in Veterinary Pathology Azabu University, Japan

2549 Doctor of Marine Science (Aquatic Biosciences) Tokyo University of Marine Science and Technology, Japan

5. สาขาวิชาการที่ชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา):

การวินิจฉัยโรคทางพยาธิวิทยา

พยาธิวิทยาภูมิคุ้มกันในสัตว์น้ำ

6. ประสบการณ์วิจัย:

6.1งานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ 5 ปีย้อนหลัง

Nopadon Pirarat, Takeshi Kobayashi, Takayuki Katagiri, Masashi Maita and Makoto Endo **2006.** Protective effects and Mechanisms of a probiotic bacterium *Lactobacillus rhamnosus* against experimental *Edwardsiella tarda* infection in tilapia (*Oreochromis niloticus*) *Vet. Immunol. Immunopathol.* 113 p. 339-347.

Noapdon Pirarat, Masashi Maita, Makoto Endo and Takayuki Katagiri **2006.** Lymphoid apoptosis in *Edwardsiella tarda* septicemia in tilapia, *Oreochromis niloticus. Fish Shellfish Immunology* 22 p. 608-616.

Nopadon Pirarat Veerasak Sada Supradit Wangnaitham and Boonmee Sunyasootcharee **2007.** Pathological study of *Helicobacter spp.* infection in pig stomachs. *Thai J. Vet. Med.* 37 (1) p. 41-48.

Wimon Pothiwong, Areerat Laorpaksa, **Nopadon Pirarat**, Sujin Sirisawadi, Jantima Intarapanya and Suree Jianmongkol **2007.** Autoxidation of brain homogenates from various animals as measured by thiobarbituric acid assay. *J. Pharmacol. Toxicol. Methods.* 56 p. 336-338.

Nopadon Pirarat, Sawang Kesdangsakolwut, Somchai Chotiapisitkul and Sukallaya Assarasakorn. **2008.** Spontaneous Diabetes Mellitus in Captive *Mandrillus sphinx* monkeys – a case report. *J. Med. Primatol.* 37(3) p. 162-165.

Nopadon Pirarat Takayuki Katagiri Masashi Maita Makoto Endo and Achariya Sailasuta **2008.** Distribution of *Edwardsiella tarda* and IgM containing cells in tilapia during septicemia: Immunohistochemical study. *Thai J. Vet. Med.* 38(2) p. 45-52.

Nopadon Pirarat, Takayuki Katagiri, Masashi Maita, Toshihiro Nakai, and Makoto Endo **2009**. Viral encephalopathy and retinopathy in hatchery-reared juvenile thread-sail filefish *(Stephanolepis cirrhifer)*. *Aquaculture* 288 p. 349-352.

Yohei Yamashita, Takayuki Katagiri, **Nopadon Pirarat**, Kunihiko Futami, Makoto Endo and Masashi Maita. **2009**. The synthetic antioxidant, ethoxyquin, adversely affects immunity in tilapia (Oreochromis niloticus). *Aquaculture Nutrition* 15 p.144-151.

Pirarat Nopadon, Ponpornpisit Aranya, Traithong Tipaporn, Nakai Toshihiro, Katagiri Takayuki, Maita Masashi and Endo Makoto **2009**. Nodavirus associated with pathological changes in adult spotted coralgroupers (*Plectropomus maculatus*) in Thailand with viral nervous necrosis. *Research in Veterinary Science* 87 p.97-101.

D. Nilubol, T. Pattanaseth, K. Boonsri, **N. Pirarat,** and N. Leepipatpiboon **2009**. Evidence of melamine-induced renal failure in pigs. *Veterinary Pathology* 46(6) p.1156-9.

Nopadon Pirarat, Komkiew Pinpimai, Katreya Chankow, Kotchakorn Malila, Nantrika Chansue, Waree Niyomtham, Channarong Rodkhum **2009**. *In Vitro* efficacy of Human-Derived Probiotic, *Lactobacilus rhamnosus* Against Pathogenic Bacteria in Fish and Frogs. *Thai J. Vet. Med.* 39(4) p. 305-310.

Angkana Sommanustweechai, Montakan Vongpakorn, Tanit Kasantikul, Jedsada Taewnean, Boripat Siriaroonrat, Mitchell Bush and **Nopadon Pirarat 2010**. Systemic neosporosis in a white rhinoceros. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 41(1): 164–167.

Theerayuth Kaewamatawong, Wijit Banlunara, Anudep Rungsipipat, **Nopadon Pirarat**, Suphasawatt Puranaveja, Angkana Sommanustweechai 2010 Disseminated Tuberculosis in Captive Malayan Tapir (*Tapirus indicus*). *Thai J. Vet. Med.* 40(4) p. 427-431.

Pirarat N, Pinpimai K, Endo M, Katagiri T, Ponpornpisit A, Chansue N, Maita M. **2011**. Modulation of intestinal morphology and immunity in nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by *Lactobacillus rhamnosus* GG. *Research in Veterinary Science* 87 (In press).

Nopadon Pirarat, Watanyoo Pratakpiriya, Krisaya Jongnimitpaiboon, Kasemsri Sajjawiriyakul, Channarong Rodkhum, Aranya Ponpornpisit Nantarika Chunsue **2011**. Lymphocystis disease in cultured false clown anemonefish (*Amphiprion ocellaris*). Aquaculture 315 p.414-416.

Vechklang Kunthika, Boonanuntanasarn Surinthorn, Ponchunchoowong Samorn, **Nopadon Pirarat** and Wanapu Chokchai **2011**. Replacement of fish meal with rice wine residual in a practical diet for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture research (In press).

6.2 ผลงานวิจัย Proceeding ประชุมวิชาการ

Aranya Ponpornpisit, Weena Koeypudsa, **Nopadon Pirarat**, Nontawith Areechon, Masahiro Sakai, Masashi Maita and Makoto Endo. **2006**. Herbal treatment of *Tetrahymena corlissi* infection in guppy (*Poecilia reticulata*). Proceeding of the JSPS-NRCT International Symposium, Innovative Technology for the Sustained Development of Fishery and Aquaculture, Bangkok, Thailand.

Nopadon Pirarat, Aranya Ponpornpisit, Tipaporn Traithong, Toshihiro Nakai, Takayuki katagiri, Masashi Maita and Makoto Endo **2006**. Pathological study of viral nervous necrosis in blue-spotted grouper (*Plectopomus maculatus*) in Thailand. Proceeding of the JSPS-NRCT International Symposium, Innovative Technology for the Sustained Development of Fishery and Aquaculture, Bangkok, Thailand.

Nopadon Pirarat 2007. Pathological Study of *Edwardsiella tarda* Infection in Tilapias using Immunohistochemical Technique. Proceedings of the 33rd Thai Veterinary Medical Association, Bangkok, Thailand. p. 221-224.

Nopadon Pirarat and Aranya Ponpornpisit **2007** Development of a Chromogenic *In situ* Hybridization assay for Viral Nervous Necrosis-nodavirus Diagnosis in Groupers. Proceedings of the 33rd Thai Veterinary Medical Association, Bangkok, Thailand. p. 225-227.

Nopadon Pirarat, Aranya Ponpornpisit, Takayuki Katagiri, Masashi Maita, Endo Makoto and Nantarika Chansue **2008**. *Lactobacillus rhamnosus* GG, a potential human-derived probiotic candidate for tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture. The 15th Congress of the Federation of Asian Veterinary Association, FAVA & OIE Symposium, Bangkok, Thailand.

Komkiew Pinpimai, Kataliya Chankow, Kotchakorn Malila, Chanarong Rodkhum, Waree Niyomtham, Nantarika Chunsue and **Nopadon Pirarat 2008.** In vitro efficacy of a human-derived probiotic bacterium, *Lactobacillus rhamnosus*, against aquatic pathogenic bacteria. 5th World Fisheries Congress, Yokohama, Japan

Pornponpisit Aranya, **Pirarat Nopadon**, Ngamkala Suchanit, Krongpong Laddawan, Takayuki katagiri, Masashi Maita and Makoto Endo **2008.** Effect of phytoestrogen compound in soymilk on zebra fish (*Danio rerio*). 5th World Fisheries Congress, Yokohama, Japan

Nopadon Pirarat, Potika Chotipong and Palarp Singhasenee **2008**. Toxicity of cadmium on tilapia (*Oreochromis niloticus*) spleen. The 15th Congress of the Federation of Asian Veterinary Association, FAVA & OIE Symposium, Bangkok, Thailand.

N. Thongsoi, N. Charoenvisal, W. Banlunara, **N. Pirarat**, A. Rungsipipat **2008**. Lipoid pneumonia associated with diabetes mellitus type II in a cat. The 15th Congress of the Federation of Asian Veterinary Association, FAVA & OIE Symposium, Bangkok, Thailand.

T. Kaewamatawong, W. Banlunara, A. Rungsipipat, **N. Pirarat**, S. Puranaveja, A. Sommanustweechai **2008**. Tuberculosis in a tapir: Pathological study and pathogen specie identification. The 15th Congress of the Federation of Asian Veterinary Association, FAVA & OIE Symposium, Bangkok, Thailand.

Katagiri T, **Pirarat N**, Pimentel SS, Maita M, Endo M. **2008**. Histopathological effects of probiotic bacteria, *Lactobacillus rhamnosus* GG against *Edwardsiella tarda* and *Aeromonas hydrophila* in tilapia Oreochromis niloticus. 5th World fisheries congress, Yokohama, Japan.

Nopadon Pirarat, Aranya Ponpornpisit, Yuthapong Jungpitukudom Takayuki Katagiri, Masashi Maita, Endo Makoto and Nantarika Chansue **2008.** Histopathological assessment of melamine toxicity in fish. 5th World fisheries congress, Yokohama, Japan.

K. Rattanapinyopituk, A. Ponpornpisit, **N. Pirarat**, T. Kaewamatawong, A. Rungsipipat. **2009** Histopathological and autometallographic tracing of acute mercury toxicity in tilapia (Oreochromis niloticus). Proceeding of the 8th Chulalongkorn University Veterinary Annual Conference, Bangkok, Thailand

N. Pirarat, A. Sommanustweechai, A. Sailasuta, S. Kamolnorranart, Y. Une and B. Siriaroonrat. **2009**. Immunohistochemical Identification of Chytridiomycosis in Poison Dart Frogs (*Dendrobates tinctorius*) in Thailand. Proceeding of the 4th Asian Society of Veterinary Pathologists Conference, Bangkok, Thailand.

N. Pirarat, K. Teankum, N. Chansue and A. Sailasuta. **2009.** Renal myxozoanosis in a soft-shell turtle. Proceeding of the 4th Asian Society of Veterinary Pathologists Conference, Bangkok, Thailand.

A. Ponpornpisit, M. Endo and **N. Pirarat. 2009**. Microsporidia infection in swordtail fish, *Xiphorphorus helleri.* Proceeding of the 4th Asian Society of Veterinary Pathologists Conference, Bangkok, Thailand.

T. Suyawanish, Y. Matura, N. Chansue and **N. Pirarat. 2009**. Systemic spirochidiasis in a green sea turtles (*Chelonia mydas*). Proceeding of the 4th Asian Society of Veterinary Pathologists Conference, Bangkok, Thailand.

Pirarat N., Ponpornpisit A., Endo M., Katagiri T. and Maita M. **2009**. The efficacy of *Lactobacillus rhamnosus* GG against Streptococcosis in tilapias (*Oreochromis niloticus*). Proceeding of the JSPS-NRCT International Symposium, Strengthening the Advancement in Fishery Research: Towards the Sustainable Cooperation, Rayong, Thailand.

Rodkhum C., Kayansamruaj P., **Pirarat N.** and Wongtawatchai J. **2009.** Multiplex PCR for simultaneous detection of *Streptococcus iniae* and *Streptococcus agalactiae* associated with Streptococcosis in Thai cultured tilapia. Proceeding of the JSPS-NRCT International Symposium, Strengthening the Advancement in Fishery Research: Towards the Sustainable Cooperation, Rayong, Thailand.

Sirin Theerawatanasirikul, Theerayuth Kaewamatawong, Wijit Banlunara, **Nopadon Pirarat**, Anudep Rungsipipat, Supradit Wangnaitham, Achariya Sailasuta **2009.** Mesothelioma in a dog, a pathological report. Proceeding of VPAT Regional Veterinary Congress, Bangkok, Thailand.

Nopadon Pirarat, Takayuki Katagiri, Kunihiko Futami, Makoto Endo, Masashi Maita **2010**. Distribution of melamine related crystal in walking catfish (*Clarius batrachus*) organs. Proceeding of 14th International symposium on fish nutrition & feeding, Qingdao, China.

6.3 BOOK CHAPTERS

6.4 นพดล พิพารัตน์ "พยาธิวิทยาทางโภชนาการ" ใน อนุเทพ รังสีพิพัฒน์ บรรณาธิการ พยาธิวิทยาทั่วไปทางสัตวแพทย์ (General Veterinary Pathology) จำนวน ๓๖๐ หน้า กรุงเทพ: หสน.ปอยท์ กราฟิค ๒๕๔๕ หน้า ๒๖๕-๓๐๕ จำหน่ายทั่วไป

นพดล พิพารัตน์ "พยาธิวิทยาระบบทางเดินอาหาร" ใน คมกฤช เทียนคำ และคณะ บรรณาธิการ พยาธิวิทยาเฉพาะระบบทางสัตวแพทย์ (Systemic Veterinary Pathology) จำนวน ๔๕๖ หน้า กรุงเทพ: หสน.ปอยท์ กราฟิค ๒๕๕๐. หน้า ๒๓๑-๒๗๒ จำหน่ายทั่วไป

นพดล พิพารัตน์ "การตรวจทางโลหิตวิทยา ตอน เกล็ดเลือดและความผิดปกติในการห้ามเลือด และการทดสอบการทำงานของตับอ่อน" ใน สมพร เตชะงามสุวรรณ และคณะ บรรณาธิการ พยาธิวิทยาคลินิกทางสัตวแพทย์ (Veterinary Clinical Pathology) จำนวน ๓๘๔ หน้า กรุงเทพ: หสน.ปอยท์ กราฟิค ๒๕๕๒ หน้า ๑๐๓-๑๒๙ และ ๒๓๕-๒๖๔ จำหน่ายทั่วไป

นพดล พิพารัตน์ "พยาธิวิทยาโภชนาการและทางเดินอาหารในสัตว์" จำนวน ๑๓๘ หน้า โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ๒๕๕๓ จำหน่ายทั่วไป

6.4 Research grants

2007-2008

Research development grant, Faculty of Veterinary Science, Chulalongkorn UniversityProject title: Development of a Chromogenic *In situ* Hybridization assay for Viral Nervous Necrosis-nodavirus Diagnosis in Groupers. (Principle investigator; PI)

2008-2009

Development grants for new faculty/researchers, Chulalongkorn University Project title: Distribution of *Edwardsiella tarda* and IgM containing cells in tilapia during septicemia: Immunohistochemical study (PI)

2007-2009

Development grants for young teacher: The Thailand Research Fund Project title: Protective mechanism and immunity of human-derived probiotic-supplemented diet against bacterial disease in tilapia (*Oreochromis niloticus*). (PI)

2008-2010

The National Research Council of Thailand Project title: Survey and monitoring of newly emerging 'Chytridiomycosis' disease in Thai amphibians. (Co-investigator)

2009-2010

The National Research Council of Thailand Project title: Efficacy of red Kwao Krua (*Butea superba* Roxb.) on growth performance, sex hormone level and morphology of reproductive organ in tilapias (*Oreochromis niloticus*) (PI)

2011-2012

Research development grant, Faculty of Veterinary Science, Chulalongkorn University Project title: Pathological assessment of experimental administration of melamine and cyanuric acid in walking catfish (*Clarius batrachus*). (PI)

2011-2013

Development grants for young teacher: The Thailand Research Fund Project title: Development and competent study of probiotic encapsulation in tilapia. (PI)

6.5 Honors and other distintions

1994-1998	Best study scholarship: Sumitomo Bank Foundation
2000-2001	Training Programs for Asian Veterinarian: Scholarship from Japan Veterinary Medical Association
2000-2001	Veterinary Pathology: Scholarship from Japan Veterinary Medical Association
2003-2006	Ph.D Scholarship: Monbukagakusho, Japanese Government
2008	Visiting Scholarship Tokyo University of Marine Science and Tchnology (TUMSAT): JSPS-NRCT Research Fund
2009	Visiting Scholarship (TUMSAT): JSPS-NRCT Research Fund
2010	Visiting Scholarship (TUMSAT): TUMSAT Scholarship