ผลของการทดแทนปลาป่นด้วยผง Super Premix ในอาหารปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ต่อการเจริญพันธุ์ การเจริญเติบโต คุณภาพเนื้อ และต้นทุน

ธนทัต สุขศรี

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

ผลของการทดแทนปลาป่นด้วยผง Super Premix ในอาหารปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ต่อการเจริญพันธุ์ การเจริญเติบโต คุณภาพเนื้อ และต้นทุน

ธนทัต สุขศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ผลของการทดแทนปลาป่นด้วยผง Super Premix ในอาหารปลาลูกผสม บึกสยามแม่โจ้ต่อการเจริญพันธุ์ การเจริญเติบโต คุณภาพเนื้อ และต้นทุน

ธนทัต สุขศรี

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ

พิจารณาเห็นชอบโดย อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(ศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาพร ตงศิริ)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล เสนพันธุ์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุดมลักษณ์ สมพงษ์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน
อธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง ผลของการทดแทนปลาป่นด้วยผง Super Premix ในอาหารปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ต่อการเจริญพันธุ์ การเจริญเติบโต คุณภาพเนื้อ และต้นทุน

ชื่อผู้เขียน นายธนทัต สุขศรี

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน

บทคัดย่อ

ผลของการทดแทนปลาป่นด้วย Super Premix (ผลพลอยได้จากกระบวนการแล่เนื้อปลา) ในอาหารปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ (ปลาบึก x ปลาสวาย) 3 ระดับ คือ 1) 0 เปอร์เซ็นต์ (ชุดควบคุม) 2) 25 เปอร์เซ็นต์ 3) 50 เปอร์เซ็นต์ ต่อการเจริญพันธุ์ การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการย่อย คุณภาพเนื้อ และต้นทุนค่าอาหารปลา ผลการทดลอง พบว่าการเจริญพันธุ์ คุณภาพเนื้อ และการเจริญเติบโตของปลาอายุ 20 วันหลังการฟัก ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ขณะที่การเจริญเติบโตของปลาลูกผสมฯ ในกระชังที่เลี้ยงด้วยอาหารทดแทนปลาป่น 25 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG) สูงกว่าชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลาลูกผสมฯ ที่เลี้ยงด้วยอาหาร SP 25 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มสามารถในการย่อยโปรตีนได้ดีที่สุด นอกจากนี้ การทดแทนปลาป่นด้วย SP 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดต้นทุนค่าอาหารปลาได้ 1.27 และ 2.14 บาท/กิโลกรัม และลดต้นทุนค่าอาหารปลาต่อการผลิตปลา 1 กิโลกรัม ได้ 8.72 และ 8.34 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ

คำสำคัญ : การเจริญพันธุ์, การเจริญเติบโต, ประสิทธิภาพการย่อย, ปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้, ลดต้นทุน

Title EFFECT OF FISH MEAL REPLACEMENT WITH SUPER PREMIX IN THE FISH FEED OF MAEJO BUK SIAM HYBRID CATFISH ON REPRODUCTIVE, GROWTH, MEAT QUALITY AND COST REDUCTION

Author Mr. Thanathat Suksri

Degree Master of Science in Fisheries Technology and Aquatic Resources

Advisory Committee Chairperson Professor Dr. Kriangsak Mengamphan

ABSTRACT

Effects of fish meal replacement with Super Premix (By-product of fillet process, SP) in feed the Maejo Buk Siam hybrid catfish (*Pangasianodon gigas* x *Pangasianodon hypophthalmus*) at 3 levels of SP, 1) 0% (control) 2) 25% and 3) 50% on reproductive, growth performance, meat quality and fish feed cost. The results showed that the reproductive, meat quality and growth of hybrid catfish age 20 days after hatching between experiment groups were not statistically different ($p>0.05$). While the growth performance of hybrid catfish in cage treated with feed replacement of fish meal with SP 25% increase the weight gain and average daily growth (ADG) higher than control statistically different ($p<0.05$). The digestive efficiency of hybrid catfish fed with SP 25% was the best protein digestibility. Moreover, the replacement of fish meal with SP 25% and 50% could reduce fish feed cost 1.27 and 2.14 baht/kg and per 1 kg of fish production was 8.72 and 8.34 baht/kg, respectively.

Keywords : reproductive, growth, digestion, Maejo Buk Siam hybrid catfish, cost reduction

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน ที่ให้คำแนะนำคำปรึกษาและการสนับสนุนทุนวิจัย ภายใต้โครงการ Innovation Hub-Agriculture & Food ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาพร ตงศิริ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล เสนพันธุ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และข้อเสนอแนะในการวิจัย ตลอดจนการเขียนวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพบูลย์ ปะนาเส สาขาวิชาการประมง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ของศูนย์ความเป็นเลิศด้านบริการสังคมปลาบึกและปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนอนุเคราะห์สถานที่ และอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ นางสาวสุภาพร สัตตัง รวมทั้งน้องนักศึกษาคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือคำแนะนำและชี้แนะในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ อีกทั้งให้กำลังใจตลอดการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษานี้

ธนทัต สุขศรี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฏ
บทที่ 1 บทนำ 1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์งานวิจัย 3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร 4
1. ปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ 4
1.1 ลักษณะทั่วไปของปลาลูกผสม 6
1.2 การเลี้ยงปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ 7
1.3 อัตราการเลี้ยงปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ในบ่อดิน 8
1.4 อาหารปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ และการให้อาหาร 8
2. ปลาป่น (fish meal) 9
2.1 การศึกษาการทดแทนปลาป่นด้วยผลพลอยได้ 9
3. Super premix 10
3.1 กระบวนการผลิต Super premix 11
4. กรดไขมันที่จำเป็นต่อปลาน้ำจืด 11

5. ความสำคัญของแร่ธาตุต่อสัตว์น้ำ 12
6. คุณภาพเนื้อ (Meat quality) 13
7. การย่อยอาหารของสัตว์น้ำ 14
7.1 อวัยวะย่อยอาหาร 14
7.2 เอนไซม์ที่ย่อยอาหารประเภทโปรตีน 15
7.3 เอนไซม์ที่ย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต 16
7.4 เทคนิคในระบบจำลองการย่อยอาหาร (*in vitro* digestibility) 16
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย 18
1. สถานที่ดำเนินการวิจัย 18
2. การเตรียมอาหารปลา 18
2.1 การเตรียม Super premix (SP) 18
2.2 การเตรียมอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 18
3. วิธีการดำเนินการวิจัย 19
การทดลองที่ 1 ศึกษาการเจริญพันธุ์ของปลาลูกผสมบึกสยามแมโจ้ 19
1.1 การศึกษาการเจริญพันธุ์ 19
1.2 การศึกษาการอนุบาลลูกปลาอายุ 20 วันหลังการฟัก ในตู้กระจก 21
การทดลองที่ 2 ศึกษาการเลี้ยงปลาในกระชัง 22
2.1 การศึกษาการเจริญเติบโต 22
2.2 การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหาร 23
2.3 การศึกษาคุณภาพเนื้อปลา 24
4. ต้นทุนค่าอาหารปลา 25
5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 25
บทที่ 4 ผลการวิจัย 26
1. อาหารปลา 26

1.1 คุณค่าทางโภชนาการในอาหารปลา 26
1.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารปลา 27
2. การศึกษาการเจริญพันธุ์ 28
2.1 การเจริญพันธุ์ของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ 28
2.2 การเพาะขยายพันธุ์โดยการผสมเทียม 30
3. การศึกษาอนุบาลปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ 20 วันหลังการฟัก 30
4. การศึกษาการเลี้ยงปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ในกระชัง 31
4.1 การเจริญเติบโต 31
5. ประสิทธิภาพการย่อยอาหาร 32
5.1 ความสามารถในการย่อยอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP โดยเอนไซม์ย่อยอาการ ... 32
6. คุณภาพเนื้อ 33
6.1 คุณภาพซาก 33
6.2 สีเนื้อ 34
7. ต้นทุน 35
7.1 ต้นทุนค่าอาหารปลา 35
7.2 ต้นทุนค่าอาหารปลาต่อการผลิตปลา 1 กิโลกรัม 36
บทที่ 5 วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง 37
1. การเจริญพันธุ์ 37
1.2 การเจริญพันธุ์ของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ 37
2. การอนุบาลในตู้กระจก 38
3. การเลี้ยงในกระชัง 38
3.1 การเจริญเติบโต 38
3.2 ประสิทธิภาพการย่อย 40
3.3 คุณภาพเนื้อ 41

4. ต้นทุนการผลิตอาหาร 42
5. สรุปและข้อเสนอแนะ 43
บรรณานุกรม 44
ภาคผนวก 53
ภาคผนวก ก วิธีการผสมเทียมปลา 54
ภาคผนวก ข การเตรียม Super premix 56
ภาคผนวก ค การสกัดเอนไซม์จากลำไส้ปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ 60
ภาคผนวก ง การปฏิบัติงาน 64
ภาคผนวก จ ประวัติผู้วิจัย 67
ประวัติผู้วิจัย 68

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ลักษณะภายนอกที่สามารถใช้ในการจำแนกปลาหนังลูกผสม 3 สายพันธุ์ ในช่วงขนาดความยาว 3-6 นิ้ว 6

ตารางที่ 2 ลักษณะเด่นของปลาบึก ปลาสวาย ปลาบึกลูกผสม และปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ 7

ตารางที่ 3 อวัยวะย่อยอาหารที่ทำหน้าที่ผลิตเอนไซม์ (*) และอวัยวะที่เกิดการย่อยอาหาร (**) 15

ตารางที่ 4 วัตถุดิบในการผลิตอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ .. 19

ตารางที่ 5 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ 26

ตารางที่ 6 องค์ประกอบกรดไขมันใน SP และอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ 27

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพการเจริญพันธุ์ของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ 29

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพการเพาะขยายพันธุ์ของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ที่เลี้ยงด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ 30

ตารางที่ 9 การเจริญเติบโตของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ที่อนุบาลด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ในตู้กระจก 31

ตารางที่ 10 การเจริญเติบโตของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ที่เลี้ยงด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ในกระชัง 32

ตารางที่ 11 ความสามารถในการย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในอาหารปลาของเอนไซม์ 33

ตารางที่ 12 คุณภาพซากของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ที่เลี้ยงในกระชัง 34

ตารางที่ 13 สีเนื้อของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ที่เลี้ยงในกระชัง 34

ตารางที่ 14 ราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหารปลา 35

ตารางที่ 15 ต้นทุนในการผลิตอาหารปลาสำหรับการทดลอง 36

ตารางที่ 16 ต้นทุนค่าอาหารปลาต่อการผลิตปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ 1 กิโลกรัม 36

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ลักษณะภายนอกของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ 4

ภาพที่ 2 ที่มาของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ 5

ภาพที่ 3 ขั้นตอนการผลิต Super premix 11

ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักปลากับปริมาณน้ำเชื้อของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ 29

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

สัตว์น้ำเป็นอาหารหลักที่สำคัญของประเทศไทยโดยเฉพาะเนื้อปลาที่อุดมไปด้วยโปรตีน ไขมัน และแร่ธาตุต่างๆ ที่ร่างกายต้องการ ตามหลักฐานขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ พบว่าประชาชนไทยส่วนใหญ่บริโภคปลาเป็นอาหารจำนวนถึง 55.2 เปอร์เซ็นต์ ของอาหารโปรตีนที่ได้จากสัตว์ทั้งหมดที่ใช้บริโภค โดยใช้ปลาเป็นอาหารประมาณ 22 กิโลกรัม/คน/ปี และจำนวนประชากรในประเทศไทยเพิ่มจาก 64,871,000 ล้านคน ในปี พ.ศ. 2557 (ยุพิน และคณะ, 2557) เพิ่มขึ้นเป็น 66,413,979 ล้านคน ในปี 2561 (การเคหะแห่งชาติ, 2561) ทำให้ความต้องการในการบริโภคโปรตีนจากเนื้อปลามีมากขึ้น ปลาที่ได้จากการจับจากธรรมชาติมีน้อยลงเพราะความเสื่อมโทรมทางธรรมชาติ และการจับสัตว์น้ำที่เกินกำลังการผลิตของธรรมชาติ จึงต้องมีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพิ่มมากขึ้น

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำให้มีการเจริญเติบโตรวดเร็วได้ขนาดตามความต้องการของผู้บริโภคจำเป็นต้องให้อาหารจำนวนมาก และต้องเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่เหมาะสม ซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์น้ำส่วนผสมจะประกอบไปด้วยวัตถุดิบหลัก คือ รำละเอียด ปลายข้าว กากถั่วเหลือง และปลาป่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งปลาป่นนับว่าเป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากเพราะเป็นแหล่งโปรตีนให้กับสัตว์น้ำในอาหาร ซึ่งในปี 2559 ไทยนำเข้าปลาป่นปริมาณ 72,394 ตัน เพิ่มขึ้น 1.33 เท่าตัว เมื่อเทียบกับปีก่อน (31,106 ตัน) (กรมประมง, 2559) ปัจจุบันการเลี้ยงปลาน้ำจืดในประเทศไทยมีศักยภาพสูง เนื่องจากผู้บริโภคให้ความสนใจในเรื่องสุขภาพมากขึ้น ซึ่งเนื้อปลาถือว่าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับคนรักสุขภาพทำให้ความต้องการเนื้อปลาในการบริโภคเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเนื้อของปลาในกลุ่มปลาหนังที่อุดมไปด้วยโปรตีนที่ย่อยง่าย กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า 3, 6 และ 9 จึงเกิดอุตสาหกรรมการแปรรูปปลาหนัง และพบว่าในกระบวนการแปรรูปปลาแล่เนื้อ (fillet) ทำให้เกิดผลพลอยได้ต่างๆ เช่น หัว โครงกระดูก และหนัง ซึ่งโดยส่วนมากจะกำจัดโดยการทิ้งเป็นของเสีย ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนา Super Premix (SP) ที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการแล่เนื้อปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ (ปลาบึก x ปลาสวาย) ที่ประกอบด้วย หัว โครงกระดูก เนื้อ และหนังปลา เมื่อนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการเบื้องต้น พบว่ามีระดับโปรตีน 28.64 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 5.09 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 2.52 เปอร์เซ็นต์ พลังงาน 6,110 แคลอรี่/กรัม และกรดไขมันที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตในปลาน้ำจืด เช่น Oleic

acid และ Linolenic acid โดยกรดไขมัน Linoleic acid (18:2n-6) และ Linolenic acid (18:3n3) จัดเป็นกลุ่มของกรดไขมันโอเมก้า 3, 6 และ 9 มีความสำคัญจำเป็นต่อร่างกายสัตว์น้ำ เนื่องจากร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์เองได้ ต้องได้จากอาหารเท่านั้น แต่สามารถสร้างกรดไขมันโอเมก้า 3 และ 6 ได้จากอาหาร (สุพิศ, 2535) นอกจากนี้ แคลเซียมและฟอสฟอรัสส่วนใหญ่เป็นธาตุที่ทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบของกระดูกและเกล็ดของปลาเช่นเดียวกันกับแคลเซียม โดยปลามีฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบประมาณ 0.4-0.5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว (Li and Mathias, 1994) และมีแคลเซียมประมาณ 0.5-1 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัวปลา (เวียง, 2542) มีรายงาน การใช้เศษปลาข้างเหลืองประกอบด้วย หัว และเครื่องใน จากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำผ่านกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์อีเอ็ม (EM) และนำมาผสมในสูตรอาหารปลานิลแดงชนิดจมน้ำปริมาณโปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้แหล่งโปรตีนจากเศษปลาหมักอบแห้งเป็นส่วนผสมในสัดส่วน 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงลูกปลานิลแดงแปลงเพศระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR), ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และการใช้โปรตีนสุทธิ (NPU) มีความแตกต่างทางสถิติ (p<0.01) (วรวุฒิ และปรีดา, 2558) มีรายงานการใช้กระดูกปลาป่นและผลพลอยได้ปูป่นจากโรงอุตสาหกรรมปูทดแทนปลาป่นในอัตรา 180 กรัม/กิโลกรัม และ 150 กรัม/กิโลกรัม สามารถเป็นวัตถุดิบอาหารที่มีประสิทธิภาพและมีคุณค่าสำหรับปลา Atlantic cod (Jogeir et al., 2006)

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ที่จะนำ SP มาเป็นวัตถุดิบเสริมในสูตรอาหารปลาเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในระดับที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาผลของ SP ต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการย่อยได้ คุณภาพเนื้อปลา และการเจริญพันธุ์ อีกทั้งสามารถลดต้นทุนค่าปลาป่น ส่งเสริมการเพิ่มมูลค่าผลพลอยได้จากกระบวนการแล่เนื้อปลาหนังให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้นและใช้ประโยชน์ได้สูงสุดต่อไป

วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเจริญพันธุ์และการเจริญเติบโตของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ (ปลาบึก x ปลาสวาย) ที่เลี้ยงในกระชังด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP ในระดับที่แตกต่างกัน

2. เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการย่อย และคุณภาพเนื้อของปลาลูกผสมฯ ที่เลี้ยงในกระชังด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP ในระดับที่แตกต่างกัน

3. เพื่อศึกษาต้นทุนค่าอาหารปลาและต้นทุนค่าอาหารปลาต่อการผลิตปลา 1 กิโลกรัม ของอาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP ในระดับที่แตกต่างกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลพื้นฐานในการเพิ่มมูลค่าผลพลอยได้จากกระบวนการแล่เนื้อปลาหนัง
2. ได้วัตถุดิบอาหารปลาที่สามารถทดแทนปลาป่นและสามารถเป็นวัตถุดิบอินทรีย์
3. ได้สูตรอาหารปลาที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาลูกผสมฯ แต่ละช่วงอายุ

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

1. ปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้

การพัฒนาสายพันธุ์กลุ่มปลาหนังที่มีชื่อว่า “ปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้” (ภาพที่ 1) พบว่า ปลาชนิดนี้มีการเจริญเติบโตดีเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ได้ภายใน 3 ปี โดยให้น้ำเชื้อและไข่ในปริมาณมาก มีอัตราการผสมติดสูง ซึ่งถือว่าเป็นปลาเศรษฐกิจตัวใหม่ของวงการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ที่มาของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ เกิดจากการผสมข้ามระหว่างพ่อปลาบึกแม่โจ้ 75 (รุ่นที่ 2) อายุ 5-6 ปี กับแม่ปลาสวายอายุ 2-3 ปี ในปี พ.ศ. 2550-2551 จนได้ปลาลูกผสมรุ่นที่ 1 และในปี 2553 นำปลาลูกผสมรุ่นที่ 1 พ่อพันธุ์กับแม่พันธุ์ปลา อายุ 2 ปี มาผสมกันจนได้ปลาลูกผสมรุ่นที่ 2 ในปี พ.ศ. 2556 (ภาพที่ 2) ซึ่งมีลักษณะภายนอกคล้ายกับปลาสวายและปลาบึก ข้อแตกต่างของปลาบึกลูกผสม ปลาบึก และปลาสวาย เมื่ออายุ 1-2 ปี ปลาขนาด 1-2 กิโลกรัม สังเกตได้จากปลาบึกแท้จะไม่มีฟันบน และฟันล่าง ปลาบึกลูกผสมจะมีฟันด้านล่างเล็กน้อย ขณะที่ปลาสวายจะมีฟันทั้งด้านบนและด้านล่าง โดย ปลาลูกผสมนี้มีขนาดโตกว่าปลาสวายแต่เล็กกว่าปลาบึก (เกรียงศักดิ์ และจารุวรรณ, 2554)

ภาพที่ 1 ลักษณะภายนอกของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้
ที่มา: เกรียงศักดิ์ และคณะ (2556)

ปี 2550-2551 พ่อปลาบึกแม่โจ้ 75 (รุ่นที่ 2) อายุ 5-6 ปี X แม่ปลาสวาย อายุ 2-3 ปี

ลูกปลาบึกลูกผสม (ลูกผสมรุ่นที่ 1)

ปี 2553 พ่อ X แม่ปลาบึกลูกผสม (พ่อบึก-แม่สวาย) อายุ 2 ปี

ปี 2556 ลูกปลาบึกสยามแม่โจ้ (ลูกผสมรุ่นที่ 1) อายุ 18 เดือน

ภาพที่ 2 ที่มาของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้

ที่มา: เกรียงศักดิ์ และคณะ (2556)

1.1 ลักษณะทั่วไปของปลาลูกผสม

Panase et al. (2013) ศึกษาการเจริญเติบโตและลักษณะภายนอกของปลาบึก ปลาลูกผสมกลับ (พ่อบึก x แม่ลูกผสม) และปลาลูกผสม (พ่อปลาบึก x แม่สวาย) พบว่าลักษณะภายนอกของปลาบึกจะมีหนวดบนขากรรไกรบนสั้นที่สุด ขนาดหัวและเส้นผ่าศูนย์กลางตาใหญ่ที่สุด ปลาลูกผสมกลับมีขนาดหัวเล็ก ความสูงและความยาวครีบก้นมากที่สุด เส้นผ่าศูนย์กลางตาน้อยที่สุด มีความลึกตัวมากที่สุด ส่วนปลาลูกผสมมีขนาดหัวเล็กใกล้เคียงกับปลาลูกผสมกลับ ครีบหลังและครีบหูยาวที่สุด มีแถบน้ำเงิน 3 แถบที่ข้างตัว (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ลักษณะภายนอกที่สามารถใช้ในการจำแนกปลาหนังลูกผสม 3 สายพันธุ์ ในช่วงขนาดความยาว 3-6 นิ้ว

ชนิดปลา	ตำแหน่งตา/หัว	หนวดขากรรไกรบน	ความยาวจากจะงอยปากถึงจุดเริ่มต้นครีบหลัง (% HL)	ความยาวครีบหลัง (% SL)	ความยาวครีบหู (% HL)	สีบนลำตัว
P. gigas (พ่อบึก x แม่สวาย)	ตาต่ำมุมปาก/หัวใหญ่	สั้นไม่เลยตา	มาก (128.2)	ปานกลาง (19.3)	สั้น (52.5)	เหลืองไม่มีแถบน้ำเงิน 3 แถบที่ข้างลำตัว
Backcross hybrid (พ่อบึก x แม่ลูกผสม)	ตาต่ำกว่ามุมปาก/หัวเล็ก	ยาวเลยตา	ปานกลาง (54.6)	สั้น (11.0)	ปานกลาง (64.8)	เหลืองไม่มีแถบน้ำเงิน 3 แถบที่ข้างลำตัว
Hybrid (พ่อบึก x แม่สวาย)	ตาเหนือมุมปาก/หัวเล็ก	ยาวเลยตา	ปานกลาง (61.5)	ยาว (40.3)	ยาว (69.6)	มีแถบสีน้ำเงิน 3 แถบที่ข้างลำตัว

ที่มา: ไพบูลย์ และคณะ (2556)

หมายเหตุ : Head length (HL) คือ ความยาวของหัว โดยเริ่มวัดจากปลายสุดของจะงอยปากไปจนถึงปลายสุดของแผ่นปิดเหงือก
Standard length (SL) คือ ความยาวมาตรฐาน โดยวัดจากปลายสุดด้านหัวไปจนถึงปลายสุดคอดหาง

การศึกษาเกี่ยวกับลักษณะภายนอกของปลากลุ่ม Pangasiidae ในช่วงที่มีขนาดเล็ก ลูกปลามีลักษณะที่คล้ายกันมาก และยากต่อการจัดจำแนก แต่เมื่อปลาเจริญเติบโตอายุประมาณ 1-2 ปี ลักษณะภายนอกของปลาเหล่านี้มีการแสดงออกที่ชัดเจนขึ้นทำให้สามารถจำแนกลักษณะภายนอกได้ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ลักษณะเด่นของปลาบึก ปลาสวาย ปลาบึกลูกผสม และปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้

สายพันธุ์ปลา	เนื้อ (%)	สีเนื้อ	การโตในบ่อดิน	การทนโรค
ปลาบึก	30-35	เหลืองอมชมพูแดง	ดีมาก	ดีมาก
ปลาสวาย	35-40	เหลือง	ปานกลาง	ดี
ปลาบึกลูกผสม	40-45	ขาวอมเหลืองอ่อน	ดี	ดีมาก
ปลาลูกผสมบึกสยามฯ	45-50	ขาวอมชมพู-เหลืองอ่อน	ดีมาก	ดีมาก

ที่มา: เกรียงศักดิ์ และคณะ (2555)

1.2 การเลี้ยงปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้

ปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้สามารถเลี้ยงได้ทั้งในกระชังและบ่อดิน บ่อดินที่เหมาะสมควรมีพื้นที่ขนาด 400 ตารางเมตร ถึงพื้นที่บ่อขนาด 2 ไร่ ความลึกของบ่อ 2.5-3 เมตร ดินเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนลูกรัง ควรอยู่ใกล้แหล่งน้ำ และมีน้ำใช้ได้ตลอดทั้งปี เช่น ท้ายอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ แม่น้ำ ลำคลอง และคลองชลประทาน ที่ไม่มีปัญหาน้ำท่วม ควรตั้งอยู่ห่างจากตลาดสด ชุมชนแออัด แหล่งโรงงานอุตสาหกรรม มีเส้นทางที่รถยนต์เข้าถึง และมีไฟฟ้าใช้ มีการติดตั้งท่อส่งน้ำเข้าบ่อ และท่อระบายน้ำออกจากบ่อแต่ละบ่อ ในกรณีที่เป็นบ่อเก่า ก่อนปล่อยปลาลงเลี้ยง ควรมีการเตรียมบ่อ เพื่อกำจัดศัตรูของปลาบึก และทำให้ปลามีอัตราการรอดตายสูงสุด สูบน้ำออกจากบ่อจนแห้งแล้วโรยปูนขาวในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ จากนั้นสูบน้ำเข้าบ่อโดยมีถุงกรองที่ทำด้วยอวนมุ้งเขียวจะเป็นตัวช่วยกรองไข่หรือตัวอ่อนของสัตว์น้ำอื่นๆ เมื่อนำน้ำเข้าบ่อเรียบร้อยแล้ว ก่อนปล่อยพันธุ์ปลาลงเลี้ยงควรมีการตรวจวัดคุณภาพน้ำก่อนทุกครั้ง (เกรียงศักดิ์ และคณะ, 2555)

1.3 อัตราการเลี้ยงปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ในบ่อดิน

ความหนาแน่นในการเลี้ยงปลาเนื่องจากปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ขนาดที่ตลาดต้องการต้องมีขนาดตั้งแต่ 1.2-3 กิโลกรัม ซึ่งต้องใช้เวลาในการเลี้ยง 6 เดือน ถึง 2 ปี อัตราการปล่อยปลาลูกผสมบึกสยามขนาด 3 นิ้ว ในบ่อดินช่วงการอนุบาลควรปล่อย 30 ตัว/ตารางเมตร ใช้เวลาเลี้ยง 2 เดือน ให้อาหารในอัตรา 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวปลา เมื่อปลามีขนาด 5-10 นิ้ว ควรย้ายบ่อเพื่อลดความหนาแน่นควรปล่อยในอัตรา 2 ตัว/ตารางเมตร เลี้ยงนาน 8 เดือน จะได้ปลาขนาด 1.5 กิโลกรัมต่อตัว (เกรียงศักดิ์ และคณะ, 2555)

1.4 อาหารปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ และการให้อาหาร

ปลาบึกสยามลูกผสมแม่โจ้นั้นจะมีพฤติกรรมการกินอาหารชนิดลอย โดยมีโปรตีน 25-40 เปอร์เซ็นต์ (ลูกปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้วัยอ่อน ต้องการอาหารโปรตีนประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในปลาเต็มวัย ต้องการอาหารโปรตีนประมาณ 25-35 เปอร์เซ็นต์ ในอัตรา 2-5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว/วัน โดยข้อดีของปลาลูกผสมเนื้อขาว พบว่าสามารถกินอาหารธรรมชาติที่มีอยู่ในบ่อ เช่น ไรน้ำ ตะไคร้น้ำ ตัวอ่อนของแมลง และสัตว์เล็กๆ ที่อยู่ที่บ่อ ตลอดจนสาหร่ายและแหนได้ด้วยเช่นกัน โดยตามธรรมชาติแล้วเมื่อปลายังเล็กจะกินพวกสัตว์น้ำขนาดเล็ก ตั้งแต่ไข่แดง โรติเฟอร์ ไรแดง ปลาป่นผสมรำละเอียด อาหารลูกกบ อาหารลูกปลาดุก จนถึงขนาด 200 กรัม ใช้เวลาประมาณ 3 เดือน และอาหารอัดเม็ดสำเร็จรูปไปตามลำดับของอายุและขนาดของปลา การลดต้นทุนค่าอาหารสามารถทำอาหารธรรมชาติขึ้นเองหรือการทำอาหารเอง ซึ่งควรจะควบคุมให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อไม่เกิน 1.5 (เกรียงศักดิ์ และคณะ, 2555) ส่วนอาหารสมทบที่หาได้จากธรรมชาติอัน ได้แก่ หญ้าเนเปียร์หรืออาหารธรรมชาติที่เกิดขึ้นในบ่อ เป็นแนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนค่าอาหาร อีกทั้งยังเป็นแนวทางหนึ่งในการเลี้ยงปลาลูกผสมในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์ได้อีกวิธีหนึ่งเนื่องจากหญ้าเนเปียร์เป็นพืชอาหารสัตว์ที่มีศักยภาพสูงทั้งในแง่การให้ผลผลิตและมีคุณค่าทางอาหารสัตว์ดีตามที่สัตว์ต้องการและเหมาะสมสำหรับใช้เลี้ยงสัตว์ (ปุญชรัศมิ์ และคณะ, 2559)

2. ปลาป่น (fish meal)

ปลาป่นเป็นวัตถุดิบอาหารโปรตีนสูงที่สำคัญสำหรับการเลี้ยงสัตว์ผลิตจากปลาชนิดต่างๆ ที่ติดมากับอวนลากของชาวประมง เมื่อนำมาบดป่น และสกัดน้ำมันออกแล้วทำให้แห้งอาจมีวัตถุอื่นๆ รวมทั้งเปลือกปู กุ้ง กั้ง หอย หิน และทราย ปนมาด้วย (ชัยภูมิ และคณะ, 2556) ปลาป่นนิยมใช้เป็นวัตถุดิบหลักที่เป็นแหล่งให้โปรตีนในอาหารปลาทำให้ความต้องการปลาป่นเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณการผลิตไม่ได้มากขึ้น เนื่องจากความต้องการอาหารโปรตีนของประชากรโลกเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะโปรตีนจากปลาเพราะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าเนื้อสัตว์บก กระบวนการทำปลาป่น 1 ตัน ต้องใช้ปลาสด 5 ตัน (Sann, 1998) ปลาทะเลไม่สามารถขยายพันธุ์และเติบโตได้ทันกับความต้องการเพื่อนำไปผลิตปลาป่นทำให้ปลาป่นมีแนวโน้มราคาสูงขึ้น และคุณภาพยังผันแปรตามฤดูกาล จากเหตุผลดังกล่าวจึงควรหาแหล่งโปรตีนจากวัตถุดิบชนิดอื่นๆ เพื่อนำมาทดแทนการใช้ปลาป่นในการผลิตอาหารปลาโดยให้ผลดีไม่แตกต่างกับปลาป่นในด้านคุณค่าทางโภชนาการที่เป็นประโยชน์ต่อสัตว์น้ำ (พิชญา และคณะ, 2555)

2.1 การศึกษาการทดแทนปลาป่นด้วยผลพลอยได้

มีความพยายามใช้แหล่งโปรตีนอื่นๆ ทดแทนปลาป่น เช่น แหล่งโปรตีนจากพืช โดยใช้กากถั่วเหลืองและข้าวโพด ซึ่งการใช้กากถั่วเหลืองและโปรตีนจากข้าวโพดแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปลากะพงขาวมีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารสูตรควบคุมที่ใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก (จูอะดี และมะลิ, 2538) และการใช้กากถั่วเหลืองป่นสกัดน้ำมัน (solvent extracted soybean meal) ในปริมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ในอาหารปลาทำให้ปลากะพงขาวมีการเจริญเติบโตดีเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปลาป่น (Boonyaratpalin et al., 1998) นอกจากแหล่งโปรตีนจากพืชแล้วยังมีการศึกษาการใช้แหล่งโปรตีนจากผลพลอยได้จากสัตว์มากขึ้น เช่น การใช้เนื้อและกระดูกป่นสามารถทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารปลากะพงได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการเจริญเติบโต การใช้ประโยชน์ ได้ของอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลากะพงขาวไม่แตกต่างทางสถิติกับอาหารชุดควบคุม (นรธัช และคณะ, 2560) และการทดแทนปลาป่นในอาหารปลาด้วยเนื้อและกระดูกป่นที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ ยังสามารถเพิ่มอัตราการกินอาหารของปลากะพงขาวให้สูงขึ้นได้อีกด้วย (พิเชต, 2557) เช่นเดียวกับการทดแทนปลาป่นด้วยเนื้อและกระดูกป่น และผลพลอยได้จากจากสัตว์ปีกป่น สามารถทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารปลา *Carassius auratus gibelio* ได้มากถึง 500 กรัม/กิโลกรัม โดยไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น (Yang et al., 2004) และระดับการ

ทดแทนปลาป่นด้วยผลพลอยได้จากสัตว์ที่ประกอบด้วยตับวัวป่น 25 เปอร์เซ็นต์ หนังสัตว์ป่น 20 เปอร์เซ็นต์ เนื้อและกระดูกป่น 20 เปอร์เซ็นต์ และเลือดป่น 15 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารปลา Mangrove red snapper ที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ ทำให้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงที่สุด (Jamil et al., 2007) คล้ายกันกับการทดแทนปลาป่นด้วยผลพลอยได้จากสัตว์ปีกป่นในอาหารปลา *Lutjanus guttatus* ที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ แสดงแนวโน้มที่คล้ายกันสำหรับประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการเติบโตมากกว่าอาหารควบคุม และจะลดลงเมื่อมีการทดแทนปลาป่นที่ระดับ 75 เปอร์เซ็นต์ (Moran et al., 2014)

3. Super premix

Super premix (SP) ในการศึกษาครั้งนี้ คือ การนำผลพลอยได้จากกระบวนการแล่เนื้อปลาลูกผสมบึกสยามฯ ที่ประกอบด้วยส่วนหัว โครงกระดูก และหนังปลา มาสับให้มีขนาดชิ้นเล็กลง จากนั้นล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า และนำไปต้มในหม้อนึ่งความดันนาน 6 ชั่วโมง เมื่อครบ 6 ชั่วโมง ปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่น ทำให้แห้งโดยการอบในเตาอบอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมงนำมาปั่นให้ละเอียดจนได้เป็นผงปลาป่น SP (ภาพที่ 3) เมื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการเบื้องต้น พบว่า มีระดับโปรตีน 28.64 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 5.09 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 2.52 เปอร์เซ็นต์ พลังงาน 6,110 แคลอรี่/กรัม และกรดไขมันที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตในปลาน้ำจืด เช่น โอเมก้า 6 และ 9 ซึ่งมีรายงานการวิจัยที่สอดคล้องกันในปลาสวายที่แปรรูปเป็นปลาแล่เนื้อ (fillet) โดยระหว่างกระบวนการผลิตมีเศษเหลือจากการแปรรูป เช่น หัวปลา ก้าง เศษเนื้อ ครีบ หนัง และอวัยวะภายใน เศษเหลือดังกล่าวประกอบด้วยโปรตีนและกรดอะมิโนที่จำเป็นในปริมาณสูง (Shahidi et al., 1995)

3.1 กระบวนการผลิต Super premix

ภาพที่ 3 ขั้นตอนการผลิต Super premix
ที่มา: ธนทัต และคณะ (2561)

4. กรดไขมันที่จำเป็นต่อปลาน้ำจืด

กรดไขมัน แบ่งออกเป็นกรดไขมันที่อิ่มตัว (ไขมันสัตว์ มะพร้าว และปาล์ม) มีจุดหลอมเหลวสูงมากกว่า 60 องศาเซลเซียส โดยแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง และกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (น้ำมันปลา น้ำมันตับปลา และน้ำมันตับปลาหมึก) จุดหลอมเหลวต่ำ อยู่ในสภาพเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง มีความสำคัญเนื่องจากเป็นกรดไขมันที่จำเป็น (essential fatty acids หรือ EFA) เพราะสัตว์น้ำไม่สามารถสังเคราะห์ได้เอง ต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น เป็นต้นกำเนิดของ prostaglandin หรือสารที่ควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบที่มดลูก เร่งการตกไข่ ควบคุมการหลั่งฮอร์โมนในร่างกายและความดันโลหิต ในกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวมีกรดไขมันที่จำเป็น (เพราะสัตว์น้ำไม่สามารถสร้างเอง) ได้แก่ กรดไขมัน linoleic (โอเมก้า 6) และกรดไขมัน lenolenic (โอเมก้า 3) โดยสัตว์น้ำจะนำกรดไขมันทั้ง 2 ชนิดนี้ไปสร้าง arachidonic acid ซึ่งเป็นองค์ประกอบผนังเซลล์ในร่างกาย ได้แก่ สมอง กล้ามเนื้อ และตับ ปลาที่ขาดกรดไขมันที่จำเป็นทำให้เจริญเติบโตช้า เซลล์ครีบหางตาย ตับซีด มีไขมันมาก ผิวขาวบรอนซ์ ท้องบวม เม็ดเลือดแดงแตก หายใจเร็วขึ้นกว่าปกติ (ธนาภรณ์, 2557)

5. ความสำคัญของแร่ธาตุต่อสัตว์น้ำ

แร่ธาตุเป็นสารอาหารที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของปลาหรือสัตว์น้ำ ทำให้กิจกรรมต่างๆ ภายในร่างกายดำเนินไปอย่างปกติ เพื่อนำไปสร้างเนื้อเยื่อต่างๆ เพื่อเป็นโครงสร้างของร่างกาย ระบบการจัดสมดุลปลาได้รับแร่ธาตุหลายชนิดจากน้ำผ่านทางเหงือก และบางส่วนจากวัสดุที่นำมาทำอาหาร แต่ก็ยังไม่เพียงพอกับความต้องการ เพราะบางส่วนสูญเสียไประหว่างขั้นตอนการผลิต หรือปลาใช้ประโยชน์ธาตุนั้นๆ จากวัตถุดิบได้น้อย ยากต่อการย่อย และดูดซึม จึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหาร โดยสามารถแบ่งแร่ธาตุออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แร่ธาตุหลัก (Macro mineral) เป็นแร่ธาตุหลักที่ร่างกายต้องการในปริมาณที่มากมี 7 ธาตุ แต่มีเพียง 3 แร่ธาตุที่ต้องใส่เพิ่มในอาหาร คือ

1. แคลเซียม (Calcium; Ca) เป็นสารหลักในการสร้างกระดูก เกล็ด การหดตัวของกล้ามเนื้อ การแข็งตัวของเลือด และน้ำย่อย ได้แก่ lipase และ protease การทำงานของระบบประสาท การจัดสมดุลในร่างกาย ปลาดูดซึมแคลเซียมจากน้ำได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำว่าเป็นน้ำอ่อน หรือน้ำกระด้าง และปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำ และในอาหารถ้ามีมากพอมีผลทำให้ปลาดูดซึมแคลเซียมจากน้ำได้มากขึ้น ส่วนการดูดซึมแคลเซียมในลำไส้ของปลานั้นต้องอาศัยวิตามิน D3 เป็นตัวช่วยจึงดูดซึมได้ดี อาหารสัตว์น้ำที่มีส่วนประกอบวัตถุดิบจากพืชในปริมาณที่มากส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซึมแคลเซียมลดลง นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับความเป็นกรดเป็นด่างในทางเดินอาหาร ถ้าทางเดินอาหารมีสภาพเป็นกรดปลาสามารถใช้ประโยชน์จากแคลเซียมในอาหารได้ดีกว่า มีรายงานว่า ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและสัตว์น้ำ แคลเซียม (Ca) เป็นแร่ธาตุที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่งและเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต พัฒนาการของโครงร่าง และกระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ ในสัตว์น้ำให้เป็นปกติ (Lall, 2002)

2. ฟอสฟอรัส (Phosphorus; P) เป็นธาตุที่จำเป็นในการสร้างกระดูกร่วมกับแคลเซียม สร้างพลังงาน และเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นรหัสของกรรมพันธุ์ควบคุมการสืบพันธุ์ และการเจริญเติบโต ใช้ในรูปอนินทรีย์และอินทรีย์ ปลาดูดซึมฟอสฟอรัสได้จากน้ำได้แต่ในปริมาณที่น้อย ปลาดูดซึมฟอสฟอรัสจากอาหารได้ดีกว่าขึ้นอยู่กับแหล่งวัตถุดิบฟอสฟอรัสในอาหารถ้าเป็นพืชดูดซึมได้น้อยมาก แต่ถ้าเป็นสัตว์ เช่น ปลาป่นดูดซึมได้ดีพอสมควร ปลาที่มีกระเพาะ เช่น ปลาดุก ปลาช่อน ดูดซึมฟอสฟอรัสได้ดีกว่าปลาที่ไม่กระเพาะ เช่น ปลาไน นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับปริมาณแคลเซียมในอาหารอีกด้วยเพราะถ้ามีแคลเซียมมากเกินไปทำให้ปลาย่อยฟอสฟอรัสได้น้อยลง ถ้าขาดฟอสฟอรัส ปลาเติบโตช้า หัวกะโหลก และกระพุ้งเหงือกของปลาสั้นกว่าปกติ Lall (2002) พบว่า การเสริมฟอสฟอรัส ในอาหารเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับปลาเพราะในน้ำจืดและน้ำทะเลมีอยู่น้อย

3. แมกนีเซียม (Magnesium; Mg) ประมาณร้อยละ 70 ของแมกนีเซียมอยู่ในกระดูกและเกล็ด เป็นตัวช่วยเสริมให้ enzyme ในร่างกายใช้ประโยชน์จาก ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน ช่วยสร้างกระดูก มีบทบาทต่อร่างกายในการใช้วิตามินบี 1 แมกนีเซียมมีมากทั้งในเนื้อเยื่อของพืช และสัตว์ แต่ปลาสามารถนำแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อสัตว์ไปใช้ได้มากกว่า ปลาดูดซึมแมกนีเซียมได้จากน้ำ เช่นกัน แต่ในน้ำจืดมีแมกนีเซียมน้อยไม่พอเพียงจำเป็นต้องได้จากอาหาร แต่ปลาทะเลไม่ต้องการเพราะได้แมกนีเซียมจากน้ำทะเลเพียงพอ ปลาที่ขาดแมกนีเซียม มีอาการชัก ขากรรไกรแข็ง แต่ถ้าได้รับแมกนีเซียมมากเกินไปทำให้ปลามีอาการทางประสาท (ธนาภรณ์, 2557)

6. คุณภาพเนื้อ (Meat quality)

คุณภาพเนื้อ หมายถึง คุณภาพของผลรวมคุณลักษณะและสมบัติของเนื้อจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเนื้อ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สี ความสามารถในการอุ้มน้ำ องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ เป็นต้น (สัญชัย, 2550) สีเนื้อนับเป็นความรู้สึกประการแรกที่ผู้บริโภคจะตอบสนองต่อเนื้อสัตว์ สีของเนื้อเกี่ยวข้องกับปริมาณไมโอโกลบิน ซึ่งสัตว์แต่ละชนิดจะมีปริมาณไม่เท่ากัน นอกจากนี้ ยังมีสารสีอีกชนิด เช่น ไซโตโครม ซึ่งเนื้อสุกรจะมีสีชมพูเทา ปกติเนื้อสัตว์สดจะมีสีแดงสดนาน 48-72 ชั่วโมง การคงอยู่ของสีแดงสดขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ห่อเนื้อ อุณหภูมิและระดับแสง เนื้อที่มีลักษณะผิดปกติ เช่น PSE (Pale Soft Exudative) สีของเนื้อจะซีดจาง สีของเนื้อมีความสำคัญต่อการยอมรับได้ของเนื้อ โดยเป็นสิ่งแรกที่ผู้บริโภคใช้ตัดสินความพึงพอใจในการเลือกซื้อเนื้อมาบริโภค การเปลี่ยนแปลงของค่าสีในเนื้อมีความสัมพันธ์กับเม็ดสีในกล้ามเนื้อ (myoglobin) และปริมาณเม็ดสีในเลือด (hemoglobin) ที่อยู่ในเนื้อ สารสีในกล้ามเนื้อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงสี (สัญชัย, 2555) จากรายงานการวิจัยของ อมรินทร์ (2556) ศึกษาลักษณะของเนื้อปลา Siberian Sturgeon (*Acipenser baerii*) ที่มีน้ำหนัก 3, 4 และ 5 กิโลกรัม พบว่า ค่าความเป็นสีแดงในปลากลุ่มน้ำหนัก 4 กิโลกรัม (3.57) และ 5 กิโลกรัม (3.18) มีค่ามากกว่ากลุ่ม 3 กิโลกรัม (2.38) กิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และอัจฉราวรรณ (2559) ศึกษาคุณภาพเนื้อ และคุณภาพซากของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ ปลานิล และปลาสวาย ที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 900 – 1,200 กรัม พบว่าปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้มีปริมาณเปอร์เซ็นต์ซากดีที่สุด เนื่องจากมีปริมาณเนื้อมากถึง 41.51 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณเปอร์เซ็นต์เครื่องในและปริมาณเปอร์เซ็นต์กระดูกมีน้อยที่สุด โดยมีความแตกต่างกับปลานิลและปลาสวายอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ลักษณะสีเนื้อของปลานิลและปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้มีสีขาวอมชมพู คุณค่าทางโภชนาการของปลาทั้งสามชนิดไม่มีความแตกต่างกัน

7. การย่อยอาหารของสัตว์น้ำ

อาหารสัตว์น้ำมีประโยชน์หรือไม่ขึ้นอยู่กับความสามารถในการย่อย และดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ของสัตว์น้ำหรือปลา โดยมีปัจจัยหลายๆ อย่างที่มีผลต่ออัตราการย่อยอาหาร เช่น ชนิดของสัตว์น้ำ มีความแตกต่างในระบบทางเดินอาหาร ทำให้ปลาหรือสัตว์น้ำย่อยอาหารแต่ละชนิดได้ไม่เท่ากัน โดยอายุของสัตว์น้ำหรือปลาที่มีอายุน้อยระบบการย่อยอาหารยังไม่พัฒนาอย่างเต็มที่ ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสารอาหาร เช่น โปรตีน และแป้ง ได้น้อยกว่าปลาที่โตแล้ว ความเครียด ที่เกิดจากหลายสาเหตุ ได้แก่ โรค สิ่งแวดล้อม มีผลทำให้การย่อยอาหารผิดปกติ เช่น การขนย้ายปลาทำให้ปลาไม่กินอาหารและขับถ่ายมากผิดปกติ อุณหภูมิ ปลาเป็นสัตว์เลือดเย็น อุณหภูมิร่างกายจึงเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิน้ำที่อาศัยอยู่ เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ปลากินอาหารได้มากเพราะระบบย่อยอาหารทำงานเร็วขึ้น มีน้ำย่อยออกมามาก และน้ำย่อยมีประสิทธิภาพมากขึ้น ปลากินอาหารในฤดูร้อนได้ดีกว่าในฤดูหนาว (ธนาภรณ์, 2557)

7.1 อวัยวะย่อยอาหาร

เอนไซม์ย่อยอาหารสามารถสร้างจากอวัยวะในท่อทางเดินอาหาร (digestive tract) ได้แก่ ปาก (mouth) หลอดอาหาร (esophagus) กระเพาะอาหาร (stomach) และลำไส้เล็ก (small intestine) หรืออวัยวะช่วยย่อยอาหาร (accessory organ) ได้แก่ ตับอ่อน (pancreas) ตับ และตับอ่อน (hepatopancreas) หรือไพโลริกซีกา (pyloric caeca) โดยปลาแต่ละกลุ่มจะมีการปรับตัวด้านโครงสร้างของระบบย่อยอาหารให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการกินอาหาร (การุณ และอุทัยวรรณ, 2555) อย่างไรก็ตาม อวัยวะหลักที่เกิดการย่อยและดูดซึมสารอาหารเกือบทุกชนิด คือ ลำไส้เล็ก (วีรพงศ์, 2536) ส่วนรายละเอียดที่เกี่ยวกับอวัยวะย่อยอาหารที่ทำหน้าที่ผลิตเอนไซม์ และอวัยวะที่เกิดการย่อยอาหาร แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อวัยวะย่อยอาหารที่ทำหน้าที่ผลิตเอนไซม์ (*) และอวัยวะที่เกิดการย่อยอาหาร (**)

อวัยวะ (Organ)	(เอนไซม์ย่อยอาหาร) Digestive Enzyme
กระเพาะอาหาร (Stomach) *, **	Pepsin
ตับอ่อน (Pancreas) *	Amylase, Carboxypeptidase, Chymotrypsin,
สำไส้เล็ก (Small Intestine) **	Lecithinase, Lipase, Polynucleotidase,Trypsin
สำไส้เล็ก (Small Intestine) *,**	Aminopeptidase, Dipeptidase, Maltase, Sucrase

ที่มา: การุณ และอุทัยวรรณ (2555)

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารจะมุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตมากกว่าไขมัน เนื่องจากปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของปลา คือ สารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน และสารอาหารประเภทโปรตีนเพื่อการสร้างและซ่อมแซมเนื้อเยื่อส่วนที่สึกหรอ ในขณะที่ไขมันถือเป็นแหล่งพลังงานสำรอง (สุดาพร และดวงพร, 2556)

7.2 เอนไซม์ที่ย่อยอาหารประเภทโปรตีน

เอนไซม์ชนิดนี้พบได้ทั้งในกระเพาะอาหารและในลำไส้เล็ก เช่น เอนไซม์เปบซิน (pepsin) โดยกระเพาะจะหลังกรดไฮโดรคลอลิค (HCl) เพื่อกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์เปบซิโนเจน โดยเอนไซม์เปบซินจะทำงานได้ดีที่ pH ประมาณ 1.5-3.0 และย่อยโปรตีนโดยจะแยกพันธะเปบไทด์ระหว่าง กรดอะมิโนชนิดอะโรมาติก เช่น ฟีนิลอะลานิน และไทโรซินจนได้โปรทรีออส ซึ่งเป็นสายของกรดอะมิโนที่มีความยาวต่างกันก็จะถูกส่งไปย่อยต่อยังลำไส้ ซึ่งเอนไซม์ย่อยโปรตีนในลำไส้เล็กมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด โดยได้จากการคัดหลังของผนังลำไส้เล็กและตับอ่อน เช่น เอนไซม์ทริปซิโนเจนและไคโมทริปซิ-โนเจน ซึ่งจะย่อยโปรตีนได้ต้องถูกกระตุ้นจากเอนไซม์เอนเทอร์โรไคเนสจากลำไส้เล็กโดยเปลี่ยนจากทริปซิโนเจนไปเป็นเอนไซม์ทริปซิน (trypsin) ส่วนไคโมทริปซิโนเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นไคโมทริปซินที่สามารถย่อยโปรตีนได้ (Lovell, 1989) โดยทั่วไปลำไส้ของปลาจะมี pH อยู่ที่ช่วง 7-9 และขณะย่อยอาหารจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในปลาที่ไม่มีกระเพาะอาหารจะไม่มีการหลังกรดไฮโดรคลอลิคออกมา การย่อยจึงเกิดขึ้นในลำไส้เล็กเท่านั้น (วีรพงษ์, 2536) เอนไซม์ทริปซินและไคโมทริปซินจะช่วยย่อยโปรติออสที่ถูกส่งมาจากกระเพาะอาหารจนได้เป็นเปบโตน ซึ่งเป็นเปบไทด์ที่สายสั้นลงมา

และโพลีเปบไทด์ ตามลำดับ จากนั้นกลุ่มอะมิโนเปบซิเดสและคาร์บอกซีเปบติเดสย่อยไดเปบไทด์จนได้กรดอะมิโน ซึ่งเป็นโมเลกุลของโปรตีนที่มีขนาดเล็กที่สุด (สุดาพร และดวงพร, 2556)

7.3 เอนไซม์ที่ย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต

ส่วนมากปลาจะมีความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ต่ำมาก แต่จะแตกต่างกันตามชนิดของปลา เอนไซม์ที่มีความสำคัญในการย่อยคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ อัลฟ่าอะไมเลส ซึ่งจะย่อยคาร์โบไฮเดรตให้เปลี่ยนเป็นกลูโคสและมอลโตสโดยจะย่อยแป้งที่พันธะแอลฟ่า 1,4 กลูโคไซด์ เมื่ออาหารผสมกับมิวคัส (mucus) และแกสติคจูส (Gastric Juse) จนอาหารกลายเป็นของเหลวแล้วจะถูกส่งไปยังลำไส้ส่วนต้น (Lovell, 1989) หลังจากนั้นจะกระตุ้นผนังลำไส้ให้หลั่งน้ำย่อยหลายชนิด ได้แก่ อะไมเลส กลูโคซิเดส และกาแลคโตซิเดส ซึ่งจะทำหน้าที่ย่อยอาหารคาร์โบไฮเดรตพวกแป้งและ ไกลโคเจนให้เป็นโมโนแซคคาไรด์ มอลโตไตรโอส และมอลโตส (Wee, 1992) นอกจากนี้ ยังพบน้ำย่อยมอลเตส ซูเครส แลคเตส และเซลลูเลส อาหารคาร์โบไฮเดรตพวกแป้งและไกลโคเจนจะถูกย่อยให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลูโคส ฟรุกโตส และกาแลคโตส (สุดาพร และดวงพร, 2556)

7.4 เทคนิคในระบบจำลองการย่อยอาหาร (*in vitro* digestibility)

เทคนิค *in vitro* digestibility คือ การประเมินประสิทธิภาพการย่อยในหลอดทดลองที่เลียนแบบสภาวะการย่อยให้ใกล้เคียงกับในตัวสัตว์ และใช้เอนไซม์ที่สกัดจากสิ่งมีชีวิตที่สนใจมาย่อยวัตถุดิบอาหาร การตรวจสอบโดยวิธีนี้สามารถวิเคราะห์ได้รวดเร็ว มีค่าใช้จ่ายน้อย ไม่มีผลกระทบเนื่องจากพฤติกรรมการเลือกกินของสัตว์ และสามารถเปรียบเทียบความสามารถในการย่อยของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ ข้อมูลที่ได้สามารถใช้คัดเลือกชนิดวัตถุดิบก่อนการประกอบสูตรอาหารจริง รวมทั้งใช้ปรับปรุงกรรมวิธีการเตรียมวัตถุดิบอาหารที่ย่อยง่ายและจำเพาะต่อชนิดและความสามารถในการย่อยของสัตว์ (การุณ , 2563) และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาวัตถุดิบอาหารและการย่อยได้ คือ สำหรับผู้ผลิตอาหารหรือโรงงานผลิตอาหารสามารถตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหาร ตรวจสอบกรรมวิธีการผลิต ปรับปรุงวัตถุดิบราคาถูกให้เป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารที่ดีได้ (สุดาพร และดวงพร, 2556)

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารด้วยเทคนิค *in vitro* digestibility ซึ่งมีรายงานว่า จุลทรรศน์ และคณะ (2560) ศึกษาเทคนิค *in vitro* digestibility เอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิลวัยอ่อนและตัวเต็มวัยสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตในปลายข้าวได้ดีที่สุด ส่วนการย่อยโปรตีนปลานิลวัยอ่อนจะย่อยโปรตีนในกากถั่วเหลืองได้ดีที่สุด ในขณะที่ตัวเต็มวัยจะย่อยโปรตีนในรำละเอียด

ได้ดีที่สุด ส่วนการศึกษาในกลุ่มปลาหนัง เช่น ปลาโมงขนาดเล็กจะมีความสามารถในการย่อยโปรตีนจากวัตถุดิบจากสัตว์ได้ดีกว่าพืช และปลาโมงขนาดใหญ่มีความสมารถในการย่อยโปรตีนจากวัตถุดิบอาหารได้ทั้งพืชและสัตว์ (ธนาวัฒน์ และคณะ, 2557) นอกจากนี้ การศึกษาการย่อยอาหารโดยวิธี *in vitro* ยังชี้ให้เห็นความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ protease ที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อกบมีพัฒนาการของการเจริญเติบโต โดยกบที่มีขนาดใหญ่ขึ้นกิจกรรมของเอนไซม์ protease จะเพิ่มขึ้นด้วย (รุ่งกานต์ และบัญญัติ, 2558)

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. สถานที่ดำเนินการวิจัย

ศูนย์ความเป็นเลิศด้านบริการสังคมปลาบึกและปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

2. การเตรียมอาหารปลา

2.1 การเตรียม Super premix (SP)

นำผลพลอยได้จากการแล่เนื้อปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ (พ่อปลาบึก x แม่ปลาสวาย) ประกอบด้วยส่วนหัว โครงกระดูก และหนังปลา มาสับให้มีขนาดชิ้นเล็กลง จากนั้นล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า และนำไปต้มในหม้อนึ่งความดันนาน 6 ชั่วโมง เมื่อครบ 6 ชั่วโมง ปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่น ทำให้แห้งโดยการอบในเตาอบอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง และนำมาปั่นให้ละเอียดจนได้เป็นผงปลาป่น SP (ธนทัต และคณะ, 2561)

2.2 การเตรียมอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP

ผลิตอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 4 โดยมีโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการในอาหารปลา ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และเยื่อใย ตามวิธีของ AOAC (2000) และวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน (Fatty acid composition) โดยการทำ GC (Gas-Chromatography) ด้วยวิธีการ In House Method TE-CH-208 (AOAC, 2012) กำหนดอัตราการให้อาหารปลา 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว/วัน วันละ 2 ครั้ง (เวลา 9.00 น. และ 16.00 น.)

ตารางที่ 4 วัตถุดิบในการผลิตอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์

วัตถุดิบ	SP 0%	SP 25%	SP 50%
ปลาป่น	15	11.25	7.5
กากถั่วเหลือง	36	39	42
ปลายข้าว	32	33	33
รำละเอียด	16	12	9
น้ำมันปลา	1	1	1
Super premix (SP)	0	3.75	7.5
รวม (กิโลกรัม)	**100**	**100**	**100**

หมายเหตุ: น้ำมันปลาได้มาจากการสกัดก้อนไขมันในช่องท้องปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ (ปลาบึก x ปลาสวาย)

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเจริญพันธุ์ของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้

แบ่งออกเป็น 2 กิจกรรม ดังนี้

1.1 การศึกษาการเจริญพันธุ์

เตรียมปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ (พ่อปลาบึก x แม่ปลาสวาย, F_2) มีน้ำหนักเริ่มต้น 2.6 กิโลกรัม เลี้ยงในกระชังขนาด 4x3x2 เมตร ระยะเวลา 4 เดือน ใช้ปลาเป็นจำนวนซ้ำและทำเครื่องหมายปลาด้วยการฉีดสี Alchian bule โดยซ้ำที่ 1 ฉีดบริเวณโคนครีบหูด้านขวา ซ้ำที่ 2 ฉีดบริเวณโคนครีบหูด้านซ้าย และซ้ำที่ 3 ฉีดบริเวณโคนครีบท้องด้านขาว เลี้ยงด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วย Super premix (SP) 3 ระดับ ให้อาหาร 2 เวลา คือ ตอนเช้าและตอนเย็น (9.00 น. และ 16.00 น.) เพื่อศึกษาการเพาะขยายพันธุ์และประสิทธิภาพการผสมพันธุ์ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) แบ่งการทดลองเป็น 3 ชุดการทดลองๆ 9 ตัว แบ่งเป็นตัวผู้ 6 ตัว และตัวเมีย 3 ตัว ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP 0% (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 อาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP 25%

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP 50%

ตรวจสอบจำนวนปลาเพศผู้และเพศเมียแต่ละชุดการทดลองที่มีความสมบูรณ์เพศในเดือนสิงหาคมช่วงฤดูกาลวางไข่ โดยตรวจการพัฒนาของไข่และน้ำเชื้อ โดยการรีดไข่และน้ำเชื้อ หากมีการพัฒนาการของไข่และน้ำเชื้อพร้อมที่จะผสมเทียมจะใช้ฮอร์โมน cinnafact® (HRH-a) ในเพศผู้และเพศเมีย เท่ากับ 5 และ 15 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และยาเสริมฤทธิ์ motilium ในอัตรา 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เพื่อศึกษาจำนวนไข่ (ฟอง/กรัม) น้ำหนักไข่รวม (กรัม/กิโลกรัมปลา) และปริมาณน้ำเชื้อ (มิลลิลิตร/กิโลกรัมปลา)

1.1.1 ความเข้มข้นของน้ำเชื้อ

เจือจางน้ำเชื้อกับน้ำเกลือ (NaCl) 0.9 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1:800 ดัดแปลงจากวิธีของ Uavechnichkul (2009) โดยใช้สไลด์นับเม็ดเลือด (hemocytometer) ใช้สูตรคำนวณ คือ 40 N x 10^6 เซลล์/มิลลิลิตร เมื่อ N คือ จำนวนเซลล์อสุจิที่พบในสี่เหลี่ยมจัตุรัส 5 ช่อง และหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเชื้อกับน้ำหนักตัวของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้แบบถดถอยเชิงเส้น (linear regression) ด้วยวิธี least square โดยใช้โปรแกรม Microsoft excel โดยแปลงข้อมูลเป็นค่า log

1.1.2 ประสิทธิภาพการผสมพันธุ์

ทำการผสมระหว่างพ่อพันธุ์ปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้กับแม่พันธุ์ปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ หลังการเพาะขยายพันธุ์โดยการผสมเทียม เพื่อศึกษาอัตราการปฏิสนธิ อัตราการฟัก อัตราการรอดตายของลูกปลา 6 วันหลังการฟัก โดยวิเคราะห์ตามสูตร ดังนี้

$$\text{อัตราการปฏิสนธิ (Fertilization rate; \%)} = \frac{\text{จำนวนไข่ที่ปฏิสนธิ x 100}}{\text{จำนวนไข่ทั้งหมด}}$$

$$\text{อัตราการฟักเป็นตัว (Hatching rate; \%)} = \frac{\text{จำนวนไข่ที่ฟักออกมา x 100}}{\text{จำนวนไข่ที่ปฏิสนธิ}}$$

อัตราการรอด (Survival rate; %) 6 วันหลังฟัก = $\frac{\text{จำนวนลูกปลาที่รอด x 100}}{\text{จำนวนลูกปลาเริ่มต้น}}$

1.2 การศึกษาการอนุบาลลูกปลาอายุ 20 วันหลังการฟัก ในตู้กระจก

เตรียมปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ (พ่อปลาบึก x แม่ปลาสวาย, F_3) มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย เท่ากับ 0.23 กรัม เลี้ยงด้วยอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 3 ระดับ ในตู้กระจกขนาด 40x50x35 เซนติเมตร จำนวน 9 ตู้ๆ ละ 20 ตัว ระยะเวลา 1 เดือน เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตาย โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 0% (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 อาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 25%

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 50%

ทุกชุดการทดลอง ทำการประเมินการเจริญเติบโต น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดตาย โดยวิเคราะห์ตามสูตรตามวิธีการของ (ภาสกร และรัชนีกรณ์, 2553) ดังนี้

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain) = น้ำหนักสุดท้าย (กรัม) – น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate; SGR, %/วัน)

SGR = $\frac{(ln \text{ น้ำหนักปลาสุดท้าย (กรัม)} - ln \text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น (กรัม)}) \text{ x100}}{\text{ระยะเวลาทดลอง}}$

อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Average daily growth; กรัม/ตัว/วัน)

ADG = $\frac{\text{น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม) – น้ำหนักเมื่อเริ่มทดลอง (กรัม)}}{\text{จำนวนวันที่ทำการทดลอง}}$

ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Efficiency; %)

FCE = $\frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) x 100}}{\text{จำนวนวันที่ทำการทดลอง}}$

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion rate)

$$FCR = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ให้ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}$$

$$\text{อัตราการรอดตาย (Survival rate \%)} = \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้น}}$$

การทดลองที่ 2 ศึกษาการเลี้ยงปลาในกระชัง

แบ่งออกเป็น 3 กิจกรรม ดังนี้

2.1 การศึกษาการเจริญเติบโต

เตรียมปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ (พ่อปลาบึก x แม่ปลาสวาย, F_3) ที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย เท่ากับ 40.07 กรัม เลี้ยงในกระชังขนาด 1x1x1.5 เมตร จำนวน 9 กระชังๆ ละ 20 ตัว ระยะเวลา 2 เดือน เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตาย โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) แบ่งการทดลองเป็น 3 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 0% (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 อาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 25%

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 50%

ทุกชุดการทดลอง ทำการประเมินการเจริญเติบโต น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดตาย โดยวิเคราะห์ตามสูตรในการศึกษาข้อ 1.2 (การศึกษาการอนุบาลลูกปลาอายุ 20 วันหลังการฟัก ในตู้กระจก)

2.2 การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหาร

2.2.1 การเตรียมปลา

เตรียมปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ (พ่อปลาบึก x แม่ปลาสวาย, F_3) มีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 165.83 กรัม จากการทดลองข้อ 2.1 ที่เลี้ยงในกระชังด้วยอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 3 ระดับ ใช้ปลาชุดการทดลองละ 9 ตัว เพื่อใช้ในการสกัดเอนไซม์ย่อยอาหาร โดยผ่าท้องเก็บตัวอย่างลำไส้ของปลา

2.2.2 การเตรียมเอนไซม์

ทำการสกัดเอนไซม์จากลำไส้ทั้งหมดของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ (พ่อปลาบึก x แม่ปลาสวาย, F_3) โดยบดตัวอย่างใน Tris – HCl buffer ความเข้มข้น 50 mM pH 7.5 ให้ละเอียดด้วย homogenizer จากนั้นนำตัวอย่างไป centrifuge ที่ความเร็วรอบ 15,000 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เก็บส่วนที่เป็นของเหลวด้านบน (supernatant) ไว้ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการวิเคราะห์กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ต่อโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต

2.2.3 การศึกษาความสามารถในการย่อยอาหารปลา ในระบบจำลองการย่อยอาหาร (*in vitro* digestibility)

บดอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 3 ระดับ ด้วย Homogenizer หรือ Blender แล้วชั่งน้ำหนักประมาณ 5 มิลลิกรัม ผสมกับ 10 mM phosphate buffer pH 8 และ chloramphenicol 50 µl ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer บ่มที่ 30 องศาเซลเซียส เขย่าตลอดเวลาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge (รุ่น Universal 320R, ยี่ห้อ HETTICH, บริษัท เอส.พี.เอส.แล็บ จำกัด, ประเทศไทย) 5,000 เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บเฉพาะส่วนที่ใส (supernatant) จากนั้นนำตัวอย่าง 1.5 มิลลิลิตร ผสมกับเอนไซม์ 250 µl และนำไปเขย่าตลอดเวลา (200 rpm) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นหยุดปฏิกิริยาด้วยการต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที ปั่นเหวี่ยงที่ 5,000 g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อเก็บเฉพาะส่วนใสมาทำการวิเคราะห์หาความสามารถในการย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต

2.2.3.1 การวิเคราะห์หาความสามารถในการย่อยโปรตีน

นำตัวอย่างจากขั้นตอน *in vitro* digestibility ปริมาตร 400 µl เติมสารละลาย 0.1 มิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์ TNBS 0.5 มิลลิลิตร และ phosphate buffer pH 8 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer บ่มในที่มืดอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที เติมสารละลาย 1M HCl ปริมาตร 1 มิลลิลิตร วัดค่าความดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer (รุ่น Multiskan GO, ยี่ห้อ Thermo Scientific, Thermo Fisher Scientific (Thailand) Co.,LTD.) ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร เตรียมกราฟมาตรฐานโดยใช้ DL-Alanine

2.2.3.2 การวิเคราะห์หาความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรต

นำตัวอย่างจากขั้นตอน *in vitro* digestibility ปริมาตร 500 µl เติมสารละลาย DNS 500 µl ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer (รุ่น VTX-3000 L, ยี่ห้อ LMS, บริษัท Siamhitech, Japan) ต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นรอให้อุณหภูมิลดลง เติมน้ำกลั่น 2.5 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าความดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร เตรียมกราฟมาตรฐานโดยใช้ maltose

2.3 การศึกษาคุณภาพเนื้อปลา

นำปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ (พ่อปลาบึก x แม่ปลาสวาย, F_3) ที่ทดลองเลี้ยงในกระชังด้วยอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 3 ระดับ มีน้ำหนักเฉลี่ย เท่ากับ 165.83 กรัม ใช้ปลาชุดการทดลองละ 9 ตัว แบ่งออกเป็นซ้ำละ 3 ตัว เพื่อวิเคราะห์ค่าสีเนื้อและคุณภาพซาก ดังนี้

1. วิเคราะห์ค่าสีเนื้อของปลา โดยการนำเนื้อปลาส่วนลำตัวทั้ง 2 ข้าง มาวัดค่าสีเนื้อด้วยเครื่องวัดสีของ Chroma Meter CR-400 (KONICA MINOLTA, Japan) จำนวน 3 ตำแหน่งบนเนื้อปลาแต่ละข้าง ได้แก่ บริเวณเนื้อส่วนต้น กลาง และปลาย และแสดงผลเป็นค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*)

2. วิเคราะห์คุณภาพซาก โดยการชำแหละแยกชิ้นส่วนต่างๆ ของปลาทั้งตัว ได้แก่ เนื้อข้างลำตัว เนื้อท้อง เนื้อคาง เนื้อติดกระดูก เครื่องใน ก้อนไขมัน และโครงกระดูก จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนต่างๆ และจดบันทึกเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพซาก โดยคำนวณข้อมูลตามสูตร เปอร์เซ็นต์ซาก = น้ำหนักชิ้นส่วน x 100/น้ำหนักก่อนชำแหละ

4. ต้นทุนค่าอาหารปลา

การคิดต้นทุนค่าอาหารปลาวิเคราะห์จากราคาวัตถุดิบตามท้องตลาดคูณด้วยปริมาณวัตถุดิบใช้ในการผลิตอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP ทั้ง 3 ระดับ และต้นทุนค่าอาหารปลาต่อการผลิตปลา 1 กิโลกรัม โดยพิจารณาจากค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) วิเคราะห์ข้อมูลโดยการนำต้นทุนค่าอาหารปลา (บาท/กิโลกรัม) คูณด้วยค่า FCR ของแต่ละชุดการทดลอง

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบแจกแจงทางเดียว (One-way ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มการทดลองด้วยวิธีของ Tukey's test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistic Package Social Science (SPSS) version 26

บทที่ 4
ผลการวิจัย

1. อาหารปลา

1.1 คุณค่าทางโภชนาการในอาหารปลา

คุณค่าทางโภชนาการในอาหารปลาที่ใช้ในการทดลอง พบว่าโปรตีนอยู่ระหว่าง 29.41-31.12 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแคลเซียมอยู่ระหว่าง 12.00-52.52 กรัม/กิโลกรัม และพลังงานอยู่ในช่วง 406–420 กิโลแคลรี่ (kcal) ซึ่งทั้งปริมาณแคลเซียมและพลังงานจะเพิ่มขึ้นตามการทดแทนปลาป่นด้วย SP ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์

องค์ประกอบทางเคมี (%)	SP 0%	SP 25%	SP 50%
โปรตีน	29.41	30.42	31.12
ไขมัน	3.11	2.87	3.15
เถ้า	8.59	8.95	10.15
เยื่อใย	4.13	3.49	3.31
ความชื้น	10.19	10.25	10.26
คาร์โบไฮเดรต	44.57	44.02	42.01
แคลเซียม (กรัม/กิโลกรัม)	12.00	31.72	52.52
พลังงาน (kcal)	406	413	420

หมายเหตุ: คาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่าย (NFE) = 100 – ความชื้น - โปรตีน - ไขมัน – เยื่อใย – เถ้า

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารส่งตัวอย่างอาหารวิเคราะห์ ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ แสดงผลในรูป Air dry basis

1.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารปลา

องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารปลา จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารปลาเบื้องต้น พบว่า อาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP ทั้ง 3 ระดับ มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ได้แก่ Cis-9-Oleic acid (C18:1n9c), Cis-11-Eicosenoic acid (C20:1n11), Cis-9,12-Linoleic acid (C18:2n6), Alpha-linolenic acid (C18:3n3), Arachidonic acid (C20:4n6), cis-5, 8, 11, 14, 17,-Eicosapentaenoic acid (20:5n3), 4, 7, 10, 13, 16, 19,-Docosahexaenoic acid (C22:6n3), โอเมก้า 3, 6 และ 9 นอกจากนี้ ยังมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวบางชนิดที่พบเฉพาะในอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 25 และ SP 50 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ Gamma-linolenic acid (C18:3n6), Cis-11,14,-Eicosadiennoic acid (C20:2) และ Cis-8, 11, 14-Eicosatrienoic acid (C20:3n3) ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 องค์ประกอบกรดไขมันใน SP และอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์

Fatty acid composition (g/100g)	SP	SP 0%	SP 25%	SP 50%
Myristic acid (C14:0)	1.80	0.05	0.46	0.74
Palmitic acid (C16:0)	11.42	0.49	3.20	5.08
Heptadecanoic acid (C17:0)	-	0.02	-	-
Stearic acid (C18:0)	2.60	0.12	0.53	0.79
Arachidic acid (C20:0)	0.06	0.01	0.02	0.02
Behenic acid (C22:0)	-	-	0.02	0.02
Saturated fatty acid	15.88	0.70	4.24	6.66
Palmitoleic acid (C16:1n7)	0.59	0.08	0.23	0.25
Trans-9-Eladic acid (C18:1n9t)	0.06	-	-	-
Cis-9-Oleic acid (C18:1n9c)	8.65	0.68	3.27	4.71
Cis-11-Eicosenoic acid (C20:1n11)	0.26	0.01	0.03	0.08
Monounsaturated fatty acid	9.55	0.78	3.53	5.04
Cis-9,12-Linoleic acid (C18:2n6)	0.41	0.50	0.95	0.97

Gamma-linolenic acid (C18:3n6)	-	-	0.01	0.02
Alpha-linolenic acid (C18:3n3)	-	0.03	0.05	0.06
Cis-11,14-Eicosadiennoic acid (C20:2)	0.11	-	0.02	0.03
Cis-8,11,14-Eicosatrienoic acid (C20:3n3)	-	-	0.03	0.04
Arachidonic acid (C20:4n6)	-	0.02	0.06	0.08
Cis-13,16,-Docosadienoic acid (C22:2)	-	-	-	0.01
Cis-5,8,11,14,17,-Eicosapentaenoic acid (C20:5n3) (EPA)	-	0.05	0.04	0.03
4,7,10,13,16,19,-Docosahexaenoic acid (C22:6n3) (DHA)	-	0.09	0.07	0.05
Polyunsaturated fatty acid (PUFA)	0.52	0.70	1.23	1.29
Unsaturated fatty acid	10.07	1.47	4.76	6.33
n-3 fatty acid	-	0.16	0.15	0.14
n-6 fatty acid	0.41	0.52	1.05	1.12
n-9 fatty acid	8.65	0.68	3.26	4.71

หมายเหตุ: การวิเคราะห์องค์ประของกรดไขมันนำตัวอย่างส่งวิเคราะห์ บริษัท ห้องปฏิบัติการกลางสาขาเชียงใหม่ โดยใช้วิธี In house method TE-CH-208 based on 996.06 AOAC (2012)

2. การศึกษาการเจริญพันธุ์

2.1 การเจริญพันธุ์ของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้

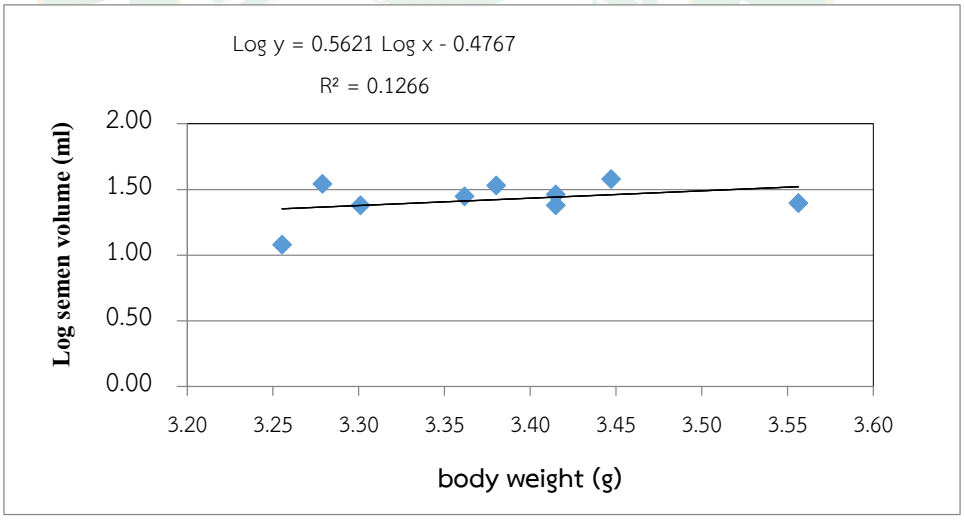
จากการศึกษาการเพาะขยายพันธุ์ด้วยวิธีการผสมเทียมในเดือนสิงหาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูวางไข่ พบว่าปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ (F_2) ทั้งเพศผู้และเพศเมียมีความพร้อมในการผสมพันธุ์ทั้ง 3 ชุดการทดลอง โดยแต่ละชุดการทดลองใช้ไข่จากปลาเพศเมีย 1 ตัว และใช้น้ำเชื้อจากปลาเพศผู้ 3 ตัว จากตารางที่ 7 ประสิทธิภาพการเจริญพันธุ์ ได้แก่ จำนวนไข่ปลา น้ำหนักไข่เฉลี่ย ปริมาณน้ำเชื้อและความเข้มข้นของน้ำเชื้อของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวปลา (กรัม)

กับปริมาณน้ำเชื้อ (มิลลิลิตร) ของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ (เพศผู้) พบว่ามีความสัมพันธ์กันน้อย ดังสมการ log y = 0.5621 log X – 0.4767 (R^2 = 0.1266) เมื่อ Y คือ ปริมาณน้ำเชื้อ และ X คือ น้ำหนักตัวปลา (ภาพที่ 4)

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพการเจริญพันธุ์ของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์

พารามิเตอร์	SP 0%	SP 25%	SP 50%
จำนวนไข่ปลา (ฟอง/กรัม)	1,533.67 ± 0.11[a]	1,534.33± 1.27[a]	1,536.33 ± 0.59[a]
น้ำหนักไข่เฉลี่ย (กรัม/กก.)	122.65 ± 9.26[a]	123.34 ± 8.79[a]	126.16 ± 3.72[a]
ปริมาณน้ำเชื้อ (มล./กก.)	13.94 ± 2.66[a]	10.09 ± 1.60[a]	10.75 ± 2.09[a]
ความเข้มข้นของน้ำเชื้อ (10^6 เซลล์/มล.)	33,427 ± 2,278[a]	39,280 ± 4,709[a]	35,667 ± 3,928[a]

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (mean) ± ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE)
อักษร a ในแถวเดียวกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ $p>0.05$



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักปลากับปริมาณน้ำเชื้อของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้

2.2 การเพาะขยายพันธุ์โดยการผสมเทียม

การเพาะขยายพันธุ์ในช่วงฤดูวางไข่ของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ (F_2) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มของอัตราการรอดตาย 6 วันหลังการฟัก สูงกว่าปลาที่เลี้ยงด้วย SP 0 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 77.77, 74.44 และ 73.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพการเพาะขยายพันธุ์ของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ที่เลี้ยงด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์

พารามิเตอร์	SP 0%	SP 25%	SP 50%
อัตราการปฏิสนธิ (%)	96.75 ± 0.95[a]	96.65 ± 1.45[a]	91.94 ± 1.47[a]
อัตราการฟักเป็นตัว (%)	57.62 ± 18.71[a]	47.91 ± 20.17[a]	47.80 ± 18.27[a]
อัตราการรอดตาย 6 วัน (%)	73.33 ± 12.62[a]	77.77 ± 11.28[a]	74.44 ± 2.94[a]

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (mean) ± ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE)
อักษร a ในแถวเดียวกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

3. การศึกษาอนุบาลปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ 20 วันหลังการฟัก

การศึกษาการอนุบาลปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ (F_3) ในตู้กระจก พบว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดตายทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 25 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและอัตราการรอดตายสูงที่สุด และมีแนวโน้มทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อลดลง โดยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจะลดลง และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อจะสูงขึ้นเมื่อให้ลูกปลากินอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 50 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 การเจริญเติบโตของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ที่อนุบาลด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ในตู้กระจก

ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต	SP 0%	SP 25%	SP 50%
น้ำหนักเริ่มต้น (Kg)	0.24 ± 0.03[a]	0.24 ± 0.02[a]	0.21 ± 0.03[a]
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Kg)	1.38 ± 0.26[a]	1.99 ± 0.25[a]	1.05 ± 0.28[a]
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%)	6.27 ± 0.63[a]	7.32 ± 0.56[a]	5.78 ± 0.62[a]
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	1.83 ± 0.18[a]	1.45 ± 0.42[a]	2.36 ± 0.44[a]
อัตราการรอดตาย (%)	82.33 ± 3.93[a]	99.00 ± 1.00[a]	93.33 ± 6.67[a]

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (mean) ± ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE)
อักษร a ในแถวเดียวกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

4. การศึกษาการเลี้ยงปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ในกระชัง

4.1 การเจริญเติบโต

การเจริญเติบโตของปลาที่เลี้ยงในกระชัง พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตต่อวันของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP 25 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม (SP 0%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนอาหารที่ทดแทนด้วย SP 50 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตต่อวันไม่แตกต่างทางสถิติกับชุดควบคุมและชุดที่ทดแทนด้วย SP 25 เปอร์เซ็นต์ และจากการสังเกตปลาที่กินอาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการเพิ่มระดับ SP ในอาหารปลามีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเพิ่มสูงขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) (มีค่าเท่ากับ 58.90, 69.64 และ 71.52% ตามลำดับ) ส่วนอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อในปลาที่กินอาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มต่ำกว่ากลุ่มควบคุม (SP 0%) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การเจริญเติบโตของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ที่เลี้ยงด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ในกระชัง

ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต	SP 0%	SP 25%	SP 50%
น้ำหนักเริ่มต้น (กก.)	41.73 ± 1.98[a]	40.47 ± 0.24[a]	38.00 ± 2.32[a]
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กก.)	75.68 ±3.36[b]	184.83 ± 11.77[a]	116.78 ± 29.15[ab]
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/ตัว/วัน)	0.82 ± 0.35[b]	2.14 ± 0.12[a]	1.15 ± 0.30[ab]
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	1.71 ± 0.11[a]	1.44 ± 0.05[a]	1.51 ± 0.32[a]
ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (%)	58.90 ± 3.89[a]	69.64 ± 2.26[a]	71.52 ± 12.42[a]
อัตราการรอดตาย (%)	70.00 ± 0.00[a]	71.67 ± 0.00[a]	70.00 ± 0.00[a]

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (mean) ± ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE)
ตัวอักษร a และ b ที่แตกต่างกันในแถว หมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติ (p<0.05)

5. ประสิทธิภาพการย่อยอาหาร

5.1 ความสามารถในการย่อยอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP โดยเอนไซม์ย่อยอาการ

การย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ (F_3) ที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 165.83 กรัม เลี้ยงด้วยอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเอนไซม์จากปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้มีความสามารถในย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05) โดยย่อยโปรตีนในอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 25 เปอร์เซ็นต์ ได้ดีที่สุด รองลงมา คือ SP 0 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 0.236, 0.193 และ 0.109 µmol DL-Alanine equivalent per g feed per trypsin activity ตามลำดับ ส่วนความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP 50 เปอร์เซ็นต์ ย่อยได้ดีที่สุด รองลงมา คือ SP 25 และ SP 0 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเท่ากับ 0.007, 0.005 และ 0.004 µmol maltose per g feed per amylase activity ตามลำดับ ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ความสามารถในการย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในอาหารปลาของเอนไซม์

อาหารทดลอง	Free amino group (mg/ml)	Reducing sugar (mg/ml)
SP 0%	0.109 ± 0.049[a]	0.005 ± 0.001[a]
SP 25%	0.235 ± 0.090[a]	0.006 ± 0.003[a]
SP 50%	0.193 ± 0.126[a]	0.003 ± 0.002[a]

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (mean) ± ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE)
Free amino group หน่วยวัดค่า คือ µmol DL-Alanine equivalent per g feed per trypsin activity
Reducing Sugar หน่วยวัดค่า คือ µmol maltose per g feed per amylase activity

6. คุณภาพเนื้อ

6.1 คุณภาพซาก

คุณภาพซากของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ (F_3) ที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 165.83 กรัม เลี้ยงในกระชังด้วยอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP ที่ระดับ 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเนื้อข้างลำตัว 2 ข้าง เนื้อท้อง เนื้อขูด เนื้อคาง เครื่องใน และโครงกระดูก ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยเปอร์เซ็นต์เนื้อข้างลำตัว 2 ข้าง ของปลาที่กินอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงที่สุด รองลงมา คือ อาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP ที่ระดับ 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 29.33, 22.46 และ 21.66 ตามลำดับ ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 คุณภาพซากของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ที่เลี้ยงในกระชัง

คุณภาพซาก (เปอร์เซ็นต์)	SP 0%	SP 25%	SP 50%
เนื้อข้างลำตัว 2 ข้าง	23.23± 0.07[a]	23.42 ± 0.15[a]	23.48 ± 0.49[a]
เนื้อท้อง	18.64 ± 0.06[a]	18.25 ± 0.08[a]	18.43 ± 0.15[a]
เนื้อขูด	5.35 ± 0.07[a]	5.25 ± 0.02[a]	5.34 ± 0.13[a]
เนื้อคาง	1.54 ± 0.14[a]	1.51 ± 0.42[a]	1.55 ± 0.26[a]
เครื่องใน	8.42 ± 0.21[a]	7.66 ± 0.53[a]	7.65 ± 0.21[a]
โครงกระดูก	42.82 ± 0.22[a]	43.92 ± 0.75[a]	43.55 ± 0.32[a]

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (mean) ± ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE), n 27
อักษร a ในแถวเดียวกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

6.2 สีเนื้อ

ผลการศึกษาสีเนื้อ พบว่าค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของปลาลูกผสมบึกสยามทั้ง 3 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดย ค่าความสว่างของเนื้อปลาขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 165.83 กรัม ที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 25 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงที่สุด รองลงมา คือ อาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 50 และ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 45.48, 44.46 และ 44.35 ตามลำดับ ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 สีเนื้อของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ที่เลี้ยงในกระชัง

การวัดสีเนื้อ	SP 0%	อาหาร SP 25 %	อาหาร SP 50 %
L* (ค่าความสว่าง)	44.35 ± 0.63	45.48 ± 0.57	44.46 ± 0.46
a* (ค่าสีแดง)	5.40 ± 0.12	5.51 ± 0.11	5.94 ± 0.23
b* (ค่าสีเหลือง)	3.27 ± 0.09	3.28 ± 0.10	3.46 ± 0.18

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE), n = 27

7. ต้นทุน

7.1 ต้นทุนค่าอาหารปลา

ในการผลิตอาหารปลาสำหรับการทดลองครั้งนี้ วัตถุดิบอาหารมีราคาสูง โดยเฉพาะปลาป่นที่มีราคา เท่ากับ 56 บาท/กิโลกรัม (ตารางที่ 14) ราคาอาหารปลาที่ใช้ในการทดลองมีราคาอยู่ระหว่าง 23.39-25.53 บาท/กิโลกรัม โดยอาหารปลาที่ทดแทนปลาป่นด้วย SP 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดต้นทุนได้ประมาณ 1.27 และ 2.14 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 14 ราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหารปลา

วัตถุดิบอาหารปลา	ราคา (บาท/กิโลกรัม)	แหล่งที่มาของวัตถุดิบ
ปลาป่นเบอร์ 2	56	ปลาป่น กากถั่วเหลือง
กากถั่วเหลือง	23.75	รำละเอียด ปลายข้าว วัตถุดิบ
ปลายข้าว	19	ทั้ง 4 ชนิด ได้จากท้องตลาด
รำละเอียด	15	ประจำปี 2561
น้ำมันปลา	10	
Super premix	20	

ตารางที่ 15 ต้นทุนในการผลิตอาหารปลาสำหรับการทดลอง

วัตถุดิบอาหาร	ต้นทุน (บาท/กก.)	สูตรอาหาร SP 0%		SP 25%		SP 50%	
		กก.	บาท	กก.	บาท	กก.	บาท
ปลาป่น	56	15	840	11.5	644	7.5	420
กากถั่วเหลือง	23.75	36	855	39	926.25	42	997.5
ร่ำละเอียด	15	16	240	12	180	9	135
ปลายข้าว	19	32	608	33	627	33	627
น้ำมันปลา	10	1	1	1	10	1	10
Super premix	20	0	0	3.75	75	7.5	150
รวม		**100**	**2,553.00**	**100**	**2,462.25**	**100**	**2,339.50**
ต้นทุน (บาท/กก.)		**25.53**		**24.26**		**23.39**	

หมายเหตุ: ต้นทุนต่อการผลิตอาหารปลาทั้ง 3 สูตร ต่อ 1 กิโลกรัม ข้างต้น ยังไม่รวมค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าแรง ค่าไฟฟ้า ค่าการตลาด รวมถึงราคาวัตถุดิบที่มีการปรับขึ้นและลงตามราคาของตลาด

7.2 ต้นทุนค่าอาหารปลาต่อการผลิตปลา 1 กิโลกรัม

ต้นทุนค่าอาหารปลาต่อการผลิตปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ 1 กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) พบว่าการทดแทนปลาป่นด้วย SP ในอาหารปลาที่ระดับ 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตปลาต่อ 1 กิโลกรัม ได้เท่ากับ 8.72 และ 8.34 ตามลำดับ ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ต้นทุนค่าอาหารปลาต่อการผลิตปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ 1 กิโลกรัม

ชุดการทดลอง	ต้นทุนอาหาร (บาท/กก.)	FCR	ต้นทุนในผลิตปลาต่อ 1 กิโลกรัม
SP 0%	25.53	1.71	43.66
SP 25%	24.26	1.44	34.93
SP 50%	23.39	1.51	35.32

บทที่ 5
วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

1. การเจริญพันธุ์

1.2 การเจริญพันธุ์ของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้

การเจริญพันธุ์ของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 2.6 กิโลกรัม ในเดือนสิงหาคม ที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP ในระดับที่แตกต่างกัน คือ 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถเพาะขยายพันธุ์ได้ จากรายงานการวิจัยของ Panase et al. (2013) ศึกษาการเพาะขยายพันธุ์ของปลาบึก ปลาสวาย และปลาลูกผสม ในเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน พบว่าปลาลูกผสมทั้งเพศผู้และเพศเมียมีความพร้อมในการขยายพันธุ์มากที่สุด นอกจากนี้ ปลาลูกผสม (เพศเมีย) ที่ได้รับอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มของน้ำหนักไข่และความเข้มข้นของน้ำเชื้อเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการได้รับอาหารที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated fatty acid, MUFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acid, FUFA) เช่น โอเมก้า 6 และ 9 ที่สูง ซึ่ง Sink et al. (2010) รายงานว่า ปลา channel catfish (*Ictalurus punctatus*) ที่เลี้ยงด้วยอาหารชุดควบคุม (ประกอบด้วยแหล่งโปรตีนจากปลาป่น ผลพลอยได้จากสัตว์ปีกและน้ำมันปลา) ที่ระดับ 10 และ 5 เปอร์เซ็นต์ มีความดกไข่มากกว่าปลาที่กินอาหารโปรตีนจากพืชและน้ำมันปลาอย่างเดียว โดยสูตรอาหารดังกล่าวมีองค์ประกอบของ Arachidonic acid (C20:4n6) และกรดไขมันโอเมก้า 6 สูงที่สุด

รายการวิจัยของ Watanabe (1982) ศึกษาความถี่การวางไข่ของปลานิล (*Oreochromis niloticus*) เพศเมียที่ได้รับอาหารชุดควบคุมที่มีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 6 จากน้ำมันถั่วเหลืองสูง พบว่าปลานิลมีจำนวนไข่มากกว่าปลานิลที่กินอาหารสูตรอื่นๆ ซึ่งกรดไขมันโอเมก้า 6 (FUFA) ในกลุ่มของกรดไขมัน Arachidonic สามารถเปลี่ยนเป็น Prostaglandins (PGs) ที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมปริมาณของฮอร์โมนเพศที่ช่วยในการพัฒนาการผลิตอสุจิและไข่สุกในปลา (Sorbera et al., 2001) การศึกษาความสัมพันธ์ในรูปสมการ logarithm ของระหว่างปริมาณน้ำเชื้อกับน้ำหนักในการศึกษาครั้งนี้ใช้ตัวผู้ทั้งหมด 9 ตัว โดยมีค่า R^2 = 0.1266 ปริมาณน้ำเชื้อของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ที่เลี้ยงในกระชังไม่มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัว ในขณะที่ ไพบูลย์ และคณะ (2556) พบว่าความดกไข่และปริมาณน้ำเชื้อของพ่อแม่พันธุ์ปลาบึกลูกผสมที่เลี้ยงในบ่อดินมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัวในระดับปานกลาง

2. การอนุบาลในตู้กระจก

จากการศึกษาการอนุบาลปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ด้วยอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณแคลเซียม (Ca) ในอาหารปลาเพิ่มขึ้นตามระดับเปอร์เซ็นต์การทดแทนปลาป่นด้วย SP มีค่าเท่ากับ 12, 31.72, และ 52.52 กรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ แต่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ที่อนุบาลในตู้กระจก ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Fontagne et al. (2009) พบว่าการเสริมแคลเซียม 1 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารลูกปลา *Oncorhynchus mykiss* ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Kalantarian et al. (2013) ระดับแคลเซียมในอาหารที่แตกต่างกันไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อปัจจัยการเจริญเติบโตของลูกปลา *Oncorhynchus Mykiss* แต่การศึกษาครั้งนี้มีแนวโน้มของการเจริญโตลดลงในปลาที่อนุบาลด้วยอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมในอาหารปลาสูงที่สุด ซึ่งคล้ายกับการรายงานของ Liang et al. (2018) พบว่าน้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเติบโตจำเพาะของลูกปลา *Aristichthys nobilis* เพิ่มขึ้นตามระดับแคลเซียมที่เพิ่มขึ้นถึง 1.26 เปอร์เซ็นต์ และหลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลง

3. การเลี้ยงในกระชัง

3.1 การเจริญเติบโต

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของปลาที่เลี้ยงในกระชังด้วยอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตต่อวันของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม (SP 0%) เมื่อพิจารณาคุณค่าทางโภชนาการอาหารปลาที่ทดแทนปลาป่นด้วย SP ในอัตราที่สูงขึ้นทำให้อาหารปลามีปริมาณเถ้ามากขึ้น และการเพิ่มขึ้นของเถ้าทำให้มีการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุที่เป็นแคลเซียมอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Nwanna and Oni (2018) ที่อธิบายว่า การเพิ่มขึ้นของเถ้าในอาหารปลาทำให้แร่ธาตุ (แคลเซียม, แมกนีเซียม, ฟอสฟอรัส, สังกะสี และเหล็ก) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เมื่อเทียบกับอาหารชุดควบคุม Paul et al. (2006) รายงานว่า การเพิ่มแคลเซียมและฟอสฟอรัสในอาหารปลาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของลูกปลา *Labeo rohita* อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารชุดควบคุม ซึ่ง Council (2011) กล่าวว่าแร่ธาตุที่ปลาต้องการมีหลายชนิด โดยเฉพาะแคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตที่เหมาะสมกับการสร้างกระดูกและการทำงานทางสรีรวิทยาอื่นๆ เช่น การแข็งตัวของ

เลือด การทำงานของกล้ามเนื้อและการส่งกระแสประสาท นอกจากนี้ แคลเซียมยังมีบทบาทสำคัญในการรักษาสมดุลไอออนของปลาน้ำจืด เนื่องจากมันมีผลต่อความสามารถในการซึมผ่านของเมมเบรนและยับยั้งการไหลเวียนของสารตลอดจนการสูญเสียไอออนที่มากเกินไป (Wood and McDonald, 1988) และยังจำเป็นสำหรับการกระตุ้นเอนไซม์หลายชนิดและกระตุ้นการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Hossain and Yoshimatsu, 2014) แคลเซียมในร่างกายประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์ ของ teleosts รวมอยู่ในกระดูกและเกล็ดซึ่งอาจทำหน้าที่เป็นแหล่งกักเก็บแคลเซียมและฟอสฟอรัส และ Nwanna and Oni (2018) ยังแสดงให้เห็นว่าในอาหารปลาที่มีการเติมแคลเซียม (Ca) และฟอสฟอรัส (P) สามารถช่วยเพิ่มน้ำหนักเฉลี่ยและอัตราการเติบโตจำเพาะอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารชุดควบคุม โดยในอาหารปลาที่มีปริมาณแคลเซียม 33.5 มิลลิกรัม/กรัม ส่งผลให้ปลา African Catfish มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงที่สุด และจะลดลงเมื่อมีปริมาณแคลเซียมในอาหาร เท่ากับ 35.2 และ 36.3 มิลลิกรัม/กรัม เช่นเดียวกับการศึกษาให้ครั้งนี้เมื่อสูตรอาหารมีแคลเซียมสูงถึง 52.52 กรัม/กิโลกรัม ทำให้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มลดลง ซึ่ง Lall (2002) พบว่าแคลเซียมในอาหารในระดับที่สูงขึ้นสามารถส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบที่จำเป็นอื่นๆ และการใช้ประโยชน์ในปลาได้ มีรายงานการเพิ่มระดับแคลเซียมที่สูงกว่า 5.11 กรัมต่อกิโลกรัม ส่งผลให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมและสังกะสีในร่างกาย เกล็ด และกระดูกสันหลังของปลา *Labeo rohita* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Musharraf et al., 2020) ในปลา *Salmo salar* การเสริมแคลเซียมในอาหารในระดับที่สูงขึ้นส่งผลให้การสะสมแมกนีเซียมในเกล็ดและกระดูกสันหลังลดลง (Vielma and Lall,1998) แคลเซียมในอาหารที่สูงอาจมีผลยับยั้งแบบแข่งขันของสารต่อไอออนบวกในระหว่างการดูดซึมในลำไส้ทำให้การดูดซึมและการกักเก็บลดลง (Roy and Lall 2003)

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันเบื้องต้นในอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีกรดไขมัน Linoleic acid (C18:2n6) และ linolenic acid (C18:3n3) สูงกว่าอาหารชุดควบคุม ซึ่ง สุพิศ (2535) ได้กล่าวว่า กรดไขมันที่มีความสำคัญจำเป็นต่อร่างกายสัตว์น้ำ คือ 18:2n-6 และ 18:3n3 เนื่องจากร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ได้เอง จำเป็นต้องรับจากอาหารที่กินเข้าไปเท่านั้น แต่สามารถสร้างกรดไขมันโอเมก้า 3 และ 6 ได้จากอาหาร การสังเคราะห์กรดไขมันที่มีสายยาวโดยการเพิ่มคาร์บอนคู่เพิ่มขึ้นโดยใช้กรดไขมันที่เป็นสารตั้งต้น คือ 18:2n-6 และ 18:3n-3 เพื่อนำไปใช้ในการการสังเคราะห์กรดไขมันชนิดอื่นๆ ยังมีรายงานของ Somboon and Semachai (2014) พบว่าปริมาณไขมันและกรดไขมันที่จำเป็นในอาหารปลาต่อการเจริญเติบโตของปลาโมง โดยอาหารปลาที่มีไขมัน 6-9 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันที่จำเป็น 2-4 เปอร์เซ็นต์ ของไขมันทั้งหมด ทำให้มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าอาหารปลาที่มีไขมัน 12 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) ซึ่งในอาหารปลาที่มีไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์ ยังพบว่ามีปริมาณกรดไขมัน Linoleic acid (C18:2n6) และ linolenic acid (C18:3n3) สูงที่สุด โดยผลการศึกษาการทดแทนปลาป่นด้วย SP

25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีกรดไขมัน Arachidonic acid (C20:4n6) สูงกว่าอาหารชุดควบคุม ซึ่งปลาก็เหมือนกับสัตว์มีกระดูกสันหลังอื่นๆ ที่ต้องการกรด docosahexaenoic (C22: 6n-3; DHA), กรด eicosapentaenoic (C20: 5n-3; EPA) และกรด arachidonic acid (C20:4n6) ซึ่งเป็นหนึ่งในกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีผลต่อพัฒนาการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ ทำหน้าที่รักษาความสมบูรณ์ของโครงสร้างและการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ (Sargent et al., 1999) สอดคล้องกับการศึกษาของ Castell et al (1994) ศึกษาการเพิ่มกรดไขมัน arachidonic acid และ docosahexaenoic acid ในอาหารลูกปลา *Scophthalmus maximus* พบว่าอาหารที่มีการเพิ่มกรด arachidonic acid เพียงอย่างเดียว ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายสูงกว่าอาหารที่มีการเพิ่มทั้ง arachidonic acid และ docosahexaenoic acid ในขณะที่อาหารที่มีการเพิ่ม docosahexaenoic acid เพียงอย่างเดียวก็ส่งผลให้การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายต่ำที่สุด นอกจากนี้ ในอาหารปลาที่มีการทดแทนปลาป่นด้วย SP 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีกรดไขมันโอเมก้า 9 สูงกว่าอาหารชุดควบคุม สอดคล้องกับการวิจัยของ ธีระวัฒน์ และคณะ (2561) พบว่าปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 9 ในน้ำมันปลาน้ำจืดที่สูงกว่าน้ำมันในปลาทะเล เมื่อนำมาเสริมในอาหารปลานิลที่ระดับ 1 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญโตเติบต่อวันเพิ่มขึ้น และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3.2 ประสิทธิภาพการย่อย

ความสามารถในการย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ขนาด 40 กรัม ที่เลี้ยงในกระชังในอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้วิธี *in vitro* digestibility พบว่าความสามารถในการย่อยโปรตีนไม่มีความแตกต่างทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Thongprajukaew (2011) ศึกษาความสามารถในการย่อยอาหารโดยเอนไซม์ย่อยอาหารในปลากัดรุ่น ด้วยวิธี *in vitro* digestibility พบว่าความสามารถในการย่อยโปรตีนในอาหารทุกกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และรายงานของ ธนาวัฒน์ และคณะ (2557) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบอาหารในปลาโมงด้วยวิธี *in vitro* protein digestibility ในวัตถุดิบอาหาร ได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง ข้าวโพด และรำละเอียด เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตอาหารปลาสำหรับเลี้ยงปลาโมง โดยทดลองในปลาโมง 2 ขนาด คือ ขนาดเล็ก น้ำหนัก 30-40 กรัม/ตัว และขนาดใหญ่ น้ำหนัก 80-100 กรัม/ตัว พบว่าปลาโมงขนาดใหญ่มีประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีนจากวัตถุดิบอาหารทุกชนิดได้ดีไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และยังมีการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารปลา 6 ชนิด โดยวิธี (TNBS) ที่มีแหล่งโปรตีนประกอบด้วยปลาป่น กากถั่วเหลือง ปลาหมึกป่น พบว่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนใน

อาหารทั้ง 6 ชนิด ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และเมื่อนำไปทดลองเลี้ยงจริง พบว่าอาหารปลาที่มีกากถั่วเหลืองมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการย่อยดีขึ้น (Divakaran et al., 2004) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้เมื่อมีการทดแทนปลาป่นด้วย SP ในระดับที่สูงขึ้นในสูตรอาหารปลา ปริมาณกากถั่วเหลืองที่ใช้ก็เพิ่มขึ้นด้วย โดยสูตรอาหารปลาที่เสริม SP ที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มความสามารถในการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ของปลาลูกสมบึกสยามแม่โจ้ และโปรตีนในอาหารปลาสูงกว่าสูตรอาหารปลาชุดควบคุม มีส่วนทำให้การเจริญเติบโตของปลาดีกว่าและแตกต่างทางสถิติกับชุดควบคุม จากรายงานการศึกษาการทำงานของ proteolytic enzyme และ amylase ในปลา rohu พบว่ามีการทำงานที่เพิ่มขึ้นตามระดับโปรตีนในอาหารที่เพิ่มขึ้น (Debnath et al., 2007) และการศึกษาในปลา dentex ซึ่งเป็นปลากินสัตว์ในเขตอบอุ่น พบว่าการทำงานของ protease amylase และกิจกรรม lipase เพิ่มขึ้น เมื่อระดับโปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้น (Gisbert, et al., 2009)

3.3 คุณภาพเนื้อ

การศึกษาคุณภาพเนื้อและคุณภาพซากของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ที่เลี้ยงในกระชัง ด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วย SP 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกทางสถิตติ อาจเป็นไปได้ว่าปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้มีขนาดเล็กและยังโตไม่เต็มที่ (165.83 กรัม) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hasan et al., (2019) ศึกษาประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของปลากดเหลืองวัยอ่อน ขนาด 50 กรัม ที่เลี้ยงด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วยเศษปลาป่นหมักเกลือในอัตราการทดแทน 0, 50, 75, และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การทดแทนปลาป่นด้วยเศษปลาป่นหมักเกลือถึง 75 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลต่อความคงตัวของอาหารเม็ดในน้ำ ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต อัตราการรอดการรอดตาย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และคุณภาพซาก และมีรายงานที่คล้ายกันของ Nalinanon and Lerdsuwan (2017) ศึกษาประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและคุณภาพซากของปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมใบกระถินเทพาป่นและเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในระดับต่างๆ พบว่า คุณภาพซากของปลานิลมีค่าสัดส่วนร้อยละของซาก ค่าสัดส่วนร้อยละของเนื้อ ค่าดัชนีตับ ค่าสัดส่วนไขมันในช่องท้อง น้ำหนักกระเพาะ ความกว้างและความหนาของปลา มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05) ซึ่งแตกต่างกับรายงานของ อมรินทร์ (2556) ศึกษาเปอร์เซ็นต์เนื้อของปลา *Siberi sturgeon* ที่มีน้ำหนัก 3, 4, และ 5 กิโลกรัม พบว่าเปอร์เซ็นต์เนื้อมีแนวโน้มสูงขึ้นตามน้ำหนักตัว โดยทั่วไปลักษณะคุณภาพซากของปลาจะแตกต่างกันไปตามชนิด และสายพันธุ์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสุขภาพ อายุ ขนาด และการเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ของปลา (Paltenea et al., 2007)

4. ต้นทุนการผลิตอาหาร

การทดแทนปลาป่นด้วย SP (25 และ 50%) ในระดับที่มากขึ้นส่งผลทำให้ต้นทุนค่าอาหารปลาถูกลงกว่า SP 0 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 24.26, 23.39 และ 25.53 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ โดยในอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 25 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดต้นทุนค่าอาหารปลาต่อการผลิตปลา 1 กิโลกรัม ได้ถึง 8.72 บาท/กิโลกรัม อีกทั้งยังสามารถทำให้ปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG) สูงที่สุด ขณะที่การใช้กากถั่วลิสงทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวาย 3 ระดับ (0, 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์) พบว่าไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต แต่การทดแทนปลาป่นที่ระดับ 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดต้นทุนได้ 1.73 และ 5.39 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ (Mapor et al., 2010) นอกจากนี้ Chimsumg et al. (2006) ทดลองใช้หัวกุ้งป่นทดแทนปลาป่นในอาหารปลานิลแดงแปลงเพศ 5 ระดับ (0, 25, 50, 75, 100 เปอร์เซ็นต์) เปรียบเทียบกับอาหารเม็ดสำเร็จรูปปลาดุก พบว่าการเจริญเติบโตไม่ความแตกต่างกัน และการทดแทนปลาป่นด้วยหัวกุ้งป่นทุกระดับมีต้นทุนค่าอาหารปลาและต้นทุนค่าอาหารปลาต่อการผลิตปลา 1 กิโลกรัม (11.19-13.14 และ 15.86-18.97 บาท/กิโลกรัม) ต่ำกว่าอาหารเม็ดสำเร็จรูปปลาดุก (19.25 และ 19.06 บาท/กิโลกรัม) ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้จากฟาร์มเกษตรกร 8 กลุ่ม ส่งให้บริษัท Life farm land ในปี พ.ศ. 2562 สามารถผลิตปลาแล่เนื้อได้ 900 กิโลกรัม (ปลาขนาด 1.5 – 2 กิโลกรัม) ซึ่งต้องใช้ปลาทั้งตัวประมาณ 2,000 กิโลกรัม ทำให้เกิดพลอยได้จากกระบวนการแล่เนื้อปลา (หัว โครงกระดูก เนื้อติดกระดูก และหนัง) ประมาณ 1,100 กิโลกรัม (Mengamphan and Kitcharoen, 2020) เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าผลพลอยได้ดังกล่าวและลดต้นทุนค่าอาหารปลา ดังนั้น การทดแทนปลาป่นด้วย SP จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับเกษตรกร สามารถนำไปประยุกตใช้ในการผลิตอาหารปลาเพื่อใช้ในการเลี้ยงปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้และปลาชนิดอื่นๆ ต่อไป

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการทดแทนปลาป่นด้วย SP ระดับที่แตกต่างกันในอาหารปลาไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการเจริญพันธุ์ ประสิทธิภาพการเพาะขยายพันธุ์ การอนุบาลลูกปลาในตู้กระจก ประสิทธิภาพการย่อยอาหารโดยเอนไซม์ของปลา และคุณภาพเนื้อของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ที่เลี้ยงในกระชัง ส่วนการทดแทนปลาป่นด้วย SP 25 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ที่เลี้ยงในกระชัง โดยสามารถเพิ่มน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG) ได้สูงที่สุด อีกทั้งอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP ที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดต้นทุนค่าอาหารปลาได้ 2.14 บาท/กิโลกรัม และต้นทุนค่าอาหารปลาต่อการผลิตปลา 1 กิโลกรัม ได้ถึง 8.72 บาท/กิโลกรัม อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาคุณภาพเนื้อและปริมาณเนื้อของปลาขนาดตลาด และควรมีการตรวจวัดค่าชีวเคมีของเลือดปลา อาทิเช่น โปรตีน คลูโคส ตลอดจนค่าที่เกี่ยวกับระบบภูมิคุ้มกัน

บรรณานุกรม

กรมประมง.2559.**สถานการณ์สินค้าปลาเป็ดปลาป่นของไทย ปี 2559 และแนวโน้มปี 2560.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.fisheries.go.th/strategy/.../pdf/สถานการณ์ปลาเป็ดปลาป่นq4_25591.pdf.

การเคหะแห่งชาติ. 2561. **ข้อมูลประชากร 2561**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://housingkc.nha.co.th/files/article/attachments/3c1e66963fc57f68adbe8a602a98becc.pdf. (19 พฤษภาคม 2563).

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**, 22(3), 710-720.

การุณ ทองประจุแก้ว และอุทัยวรรณ โกวิทวที. 2555. เอนไซม์ย่อยอาหารกับการพัฒนาอาหารเพื่อ

การุณ ทองประจุแก้ว. 2563. **การจัดการอาหารสัตว์น้ำโดยใช้เทคโนโลยีของเอนไซม์ย่อยอาหาร.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://rdo.psu.ac.th/th/index.php/recommend/689-2017-01-05-07-03-15 (22 สิงหาคม 2563).

เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน และจารุวรรณ แสงกระจ่าง. 2554. การเจริญเติบโตและพันธุกรรมปลาหนังลูกผสมสายพันธุ์ใหม่เพื่อเพิ่มมูลค่าและสนับสนุนการส่งออก. ใน **รายงานผลการวิจัยประจำปี 2554.** 42 น. คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้: เชียงใหม่.

เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน, ดวงพร อมรเลิศพิศาล, สุดาพร ตงศิริ, ชนกันต์ จิตมนัส, วิวัฒน์ หวังเจริญ และธนนันท์ ศุภกิจจานนท์. 2555. **คู่มือการเพาะเลี้ยงปลาบึก ปลาสวาย และปลาลูกผสม(บึกสยาม) เพื่อเพิ่มมูลค่าและการตลาด**. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 48 น.

เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน, ดวงพร อมรเลิศพิศาล, สุดาพร ตงศิริ, ดาราชาต์ เทียมเมือง และนิสรา กิจเจริญ. 2556. **คู่มือการเพาะเลี้ยงปลาบึกและปลาหนังลูกผสมบึกสยามแม่โจ้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา**. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

จุลทรรศน์ คีรีแลง, วิโรจน์ มงคลเทพ, ภานุพงษ์ ไชยเพียร, และสุดาพร ตงศิริ. 2560. **การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตุดิบในอาหารปลานิลด้วยวิธี *in vitro* digestibility.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มาhttp://sat.nan.rmutl.ac.th/wiroj/wpcontent/uploads/2017/03/การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบอาหารในปลานิล2561.pdf (22 สิงหาคม 2563).

จูอะดี พงศ์มณีรัตน์ และมะลิ บุณยรัตผลิน. 2538. การใช้แหล่งโปรตีนบางชนิดในอาหารสำหรับปลากะพงขาว. 12 น. ใน **เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 14/2538**. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา, กรมประมง.

ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์, สมเกียติ ประสานพานิช, ธีรวิทย์ เปี่ยคาภา, วิริยา ลุ้งใหญ่, พงศ์ธร คงมั่น, เชาว์วิทย์ ระฆังทอง และชาญวิทย์ แก้วตาปี. 2556. **โภชนะศาสตร์สัตว์**. กรุงเทพฯ: แดเน็กซ์อินเตอร์คอร์ปอเรชั่น.

ธนทัต สุขศรี, สุดาพร ตงศิริ, ธีระพล เสนพันธุ์, สุภาพร สัตตัง และเกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน. 2561. ผลของการเสริม Super premix (SP) ต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพเนื้อของ ปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้. น. 38. ใน **การประชุมวิชาการ และการประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ.** วันที่ 17-18 พฤษภาคม 2561 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่. เชียงใหม่: หจก. นันทกานต์ กราฟฟิค.

ธนาภรณ์ จิตตปาลพงศ์. 2557. **การสร้างสูตรอาหารสัตว์น้ำและสูตรอาหารสัตว์น้ำเศรษฐกิจ.** กรมประมง: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ธนาวัฒน์ ศิริปริญญานันต์, บัณฑิต ยวงสร้อย, สุธี วงศ์มณีประทีป และสุทธิศักดิ์ บุญยัง. 2557. การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบอาหารในปลาโมง. **วารสารแก่นเกษตร**, ฉบับพิเศษ (1) : 32-37.

ธีระวัฒน์ รัตนพจน์, เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน, สุดาพร ตงศิริ และดวงพร อมรเลิศพิศาล. 2561. องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปลาน้ำจืดและผลของประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโตในปลานิล. **วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร**, ฉบับพิเศษ 35 (2): 11-20.

นรธัช ประชุม, สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์, บุปผา จงพัฒน์, ปวีณา ทวีกิจการ และ บัณฑิต ยวงสร้อย. 2560. การทดแทนปลาป่นด้วยเนื้อและกระดูกป่นและกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันชนิดไม่กะเทาะเปลือกในอาหารปลากะพงขาว. **วารสารแก่นเกษตร**, 45(3), 439-444.

ปุญชรัศมิ์ มีแก้ว, นิสรา กิจเจริญ, สุดาพร ตงศิริ และเกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน. 2559. แนวทางการเลี้ยงปลาบึกสยามลูกผสมแม่โจ้อินทรีย์ สหวิทยาการสร้างสรรค์เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน. น. 61-75. ใน **การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 6 สหวิทยาการสร้างสรรค์เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน ครั้งที่ 1 ประจำปี 2559**. 11-12 กรกฎาคม 2559. กรุงเทพฯ: บัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยศิลปากร.

พิชญา ชัยนาค, โกวิทย์ เก้าเอี้ยน, สุภาพ ไพรพนาพงศ์ และสุวณิช ชัยนาค. 2555. **การใช้แหล่งโปรตีนที่เหมาะสมเพื่อทดแทนปลาป่นในอาหารปลานวลจันทร์ทะเล (*Chanos chanos* Forsskal, 1775)**. กรมประมง: สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง.

พิเชต พลายเพชร. 2557. การแทนที่ปลาป่นด้วยไก่ป่นและเนื้อและกระดูกป่นในสูตรอาหาร ปลากะพงขาว. **วารสารการประมง**, 69(4), 351-364.

ไพบูลย์ ปะนาเส, ดวงพร อมรเลิศพิศาล และเกียงศักดิ์ เม่งอำพัน. 2556. การเจริญพันธุ์และประสิทธิภาพการเพาะพันธุ์ของปลาหนัง 3 สายพันธุ์; ปลาบึก ปลาสวาย ปลาลูกผสมและปลาลูกผสมโดยเทคนิคการผสมกลับ. **วารสารการประมง**, 7 (2), 27-37.

ภาสกร แสนจันแดง และ รัชนีกรณ์ มาพะเนาว์. 2553. ระดับพลังงานในอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของปลาสังกะวาดเหลืองที่เลี้ยงในกระชัง. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น** 15 (11), 1032-1042.

ยุพิน วรสิริอมร, จงจิตต์ ฤทธิรงค์, ศุทธิดา ชวนวัน และพจนา หันจางสิทธิ์. 2557. **การเกิดกับความมั่นคงในประชากรและสังคม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ประชากรและสังคมสถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล.

รุ่งกานต์ กล้าหาญ และบัญญัติ ศิริธนาวงศ์. 2558. ประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนแบบ *in vitro* โดยเอนไซม์ bromelain จากสับปะรดและเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหาร กบนา. **วารสารแก่นเกษตร**. 43(ฉบับพิเศษ), 523-528.

วรวุฒิ เกิดปราง และปรีดา ภูมี. 2558. สัดส่วนเศษปลาหมักทดแทนปลาป่นที่เหมาะสมในสูตรอาหารปลานิลแดง. **วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง**, 9(2), 34-42.

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2536. อาหารปลา. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

เวียง เชื้อโพหมัก. 2542. **โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์น้ำ**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สัญชัย จตุรสิทธา. 2550. **การจัดการเนื้อสัตว์.** พิมพ์ครั้งที่ 4. เชียงใหม่: โรงพิมพ์มิ่งเมือง.

สัญชัย จตุรสิทธา. 2555. **เทคโนโลยีเนื้อสัตว์.** พิมพ์ครั้งที่ 4. เชียงใหม่: โรงพิมพ์มิ่งเมือง.

สุดาพร ตงศิริ และ ดวงพร อมรเลิศพิศาล. 2556. **การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบพื้นบ้านเพื่อการพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยงปลานิลแบบลดต้นทุนและเป็นอาหารปลอดภัย.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://librae.mju.ac.th/goverment/20111119104834_librae/File20131223093339_19887.pdf (22 สิงหาคม 2563).

สุพิศ ทองรอด. 2535. ความสำคัญของไขมันในอาหารสัตว์น้ำ. **วารสารการประมง,** 45(4), 943-950.

อมรินทร์ เดชานุวัติ. 2556. **ผลของน้ำหนักเข้าฆ่าต่อคุณภาพซากและเนื้อของปลาไซบีเรียนสเตอร์เจียน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อัจฉราวรรณ อินต๊ะโมงค์. 2559. **การศึกษาคุณภาพเนื้อ คุณภาพซาก ต้นทุน และการยอมรับผลิตภัณฑ์ปลาสามชนิด (ปลาสวาย ปลานิล ปลาลูกผสมบึกสยาม (บึก x สวาย).** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis of AOAC International.** 17th Ed.

AOAC. 2012. **Official method 996.06 fat (Total, Saturated, and Unsaturated)**

Boonyaratpalin, M., Suraneiranat, P. & Tunpibal, T. 1998. Replacement of fishmeal with various type of soybean products in diets for Asian seabass, *Lates calcarifer*. **Aquaculture**, 161, 67-78.

byproducts in diets for Atlantic cod, Gadus morhua. Aquaculture 253(1-4):636-645.

Castell, J. D., Bell, J. G., Tocher, D. R. & Sargent, J. R. 1994. Effects of purified diets containing different combination of arachidonic and docosahexaenoic catfish (*Ictalurus punctatus*) egg biochemical composition, egg production and quality, and fry hatching percentage and performance. **Aquaculture**, 298(3-4), 251-259.

Chimsumg, N., Chealoh, N., Pimolrat, P. & Tantikitti, C. 2006. Use of shrimp head meal as partial substitute for fish meal in sex-reversed red tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*, diet. pp. 589-597. In **Proceedings of the 44th Kasetsart University Annual Conference, Kasetsart, 30 January-2 February**. Bangkok: Kasetsart. [in Thai]

Council, N. R. 2011. **Nutrient requirements of fish and shrimp**. Washington DC: National Academy Press.

Debnath, D., Pal, A., Sahu, N., Yengkokpam, S., Baruah, K., Choudhury, D., & Venkateshwarlu, G. 2007. Digestive enzymes and metabolic profile of *Labeo rohita* fingerlings fed diets with different crude protein levels. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, 146(1), 107-114.

Divakaran, S., Forster, I. P., & Velasco, M. 2004. Limitations on the use of shrimp *Litopenaeus vannamei* midgut gland extract for the measurement of *in vitro* protein digestibility. **Aquaculture**, 239(1-4), 323-329.

Fontagne, S., Silva, N., Bazin, D., Ramos, A., Aguirre, P., Surget, A., Power, D. M. 2009. Effects of dietary phosphorus and calcium level on growth and skeletal development in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. **Aquaculture**, 297(1-4), 141-150.

Gisbert, E., Giménez, G., Fernández, I., Kotzamanis, Y., & Estévez, A. 2009. Development of digestive enzymes in common dentex *Dentex dentex* during early ontogeny. **Aquaculture**, 287(3-4), 381-387.

Hasan, B., Putra, I., Suharman, I., Iriani, D., & Muchlisin, Z. A. 2019. Growth performance and carcass quality of river catfish *Hemibagrus nemurus* fed salted trash fish meal. **The Egyptian Journal of Aquatic Research**, 45(3), 259-264.

Hossain, M., & Yoshimatsu, T. 2014. Dietary calcium requirement in fishes. **Aquaculture nutrition**, 20(1), 1-11.

Jamil, K., Abbas, G., Akhtar, R., Lin, H., & Li, Z. 2007. Effects of replacing fishmeal with animal by-products meal supplementation in diets on the growth and nutrient utilization of mangrove red snapper. **Journal of Ocean University of China**, 6(3), 292-298.

Jogeir, T., A. Anders, H. Britt and A. Sissel. 2006. Inclusion of fish bone and crab byproducts in diets for Atlantic cod, Gadus morhua. Aquaculture 253(1-4):636-645.

Kalantarian, S., Rafiee, G., Farhangi, M., & Amiri, B. M. 2013. Effect of different levels of dietary calcium and potassium on growth indices, biochemical composition and some whole body minerals in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fingerlings. **Journal of Aquaculture Research and Development**, 4(3).

Lall, S. P. 2002. The Mincrals. In **Fish Nutrition**. 3nd Edition Halver, J. E. and Hardy, R. W. (Eds.). New York: Academic Press.

Li, S. & Mathias, J. 1994. **Freshwater fish culture in China: Principles and Practice. Developments in aquaculture and fisheries science.** Amsterdam: Elsevier Science B.V.

Liang, H., Mi, H., Ji, K., Ge, X., Re, M., & Xie, J. 2018. Effects of dietary calcium levels on growth performance, blood biochemistry and whole body composition in juvenile bighead carp (*Aristichthys nobilis*). **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 18(4), 623-631.

Lovell, R.T. 1989. **Nutrition and feeding of fish**. New York: Van Nostrand Reinhold. 260 p.

Mapor, A., Pimthong, G., & Tongsiri, S. 2010. Effect of partial replacement of fish meal by peanut meal in *Pangasianodon hypophthalmus* diets. **Journal of Agricultural Research and Extension**, 27(1), 28-35. [in Thai]

Mengamphan, K. & Kitcheree, N. 2020. **Manual for the development of productivity system value standard and brand hybrid catfish for community enterprises**. 1st ed. Chiang Mai: Wanida printing Press. 60 p. [in Thai]

Moran Angulo, R. E., Voltolina, D., Valdez Pineda, M. C., & Castillo Vargasmachuca, S. G. 2014. Replacement of fishmeal by poultry py-product meal, food grade, in diets for juvennile spotted rose snapper (*Lutjanus guttatus*). **Latin American Journal of Aquatic Research**, 42(1), 111-120.

Musharraf, M., & Khan, M. A. 2020. Dietary calcium requirement of fingerling Indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton) based on growth performance, tissue mineralization, whole body, and serum biochemical composition. **Aquaculture International**, 1-15.

Nalinanon, W., & Lerdsuwan, S. 2017. Growth Performance and Carcass Quality in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*): supplemented acacia mangium meal and fibrolytic enzyme in Diets. **Thaksin University Journal**, 20(3), 25-33.

Nwanna, L. C. & O. V. Oni. 2018. Determination of Optimum Calcium and Phosphorous Ratio for the Production of African Catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). **Journal of Applied Sciences and Environmental Management**, 22(5), 689-692.

Paltenea, E., Talpes, M., lonescu, A., Zara, M., Vasile, A. & Mocanu, E. 2007. Quality assessment of fresh and refrigerated culture sturgeon meat. **Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies**, 40(2), 433-442.

Panase, P., Amornlerdpisan, D. & Mengumpan, K. 2013. Morphometric comparison and growth performances of fingerings of *Panggasianodon gigas* and their hybrids. pp. 277-283. In **International Conference on Interdisciplinary Research and Development in ASEAN Universitis.** 8-10 August 2013. Faculty of fisheries technology and aquatic resources, Maejo University, Thailand.

Paul, B. N., Sarkar, S., Giri, S. S., Mohanty, S. N. & Mukhopadhyay, P. K. 2006. Dietary calcium and phosphorus requirements of Rohu *Labeo rohita* fry. **Animal Nutrition and Feed Technology**, 6, 257-263.

Roy, P. K., & Lall, S. P. 2003. Dietary phosphorus requirement of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.). **Aquaculture**, 221(1-4), 451-468.

Sann, A. 1998. **A livelihood from fishing globalization and sustainable fisheries policies complied**. London: Intermediate Technology Publications.

Shahidi, F., Han, X. Q. & Synowiecki, J. 1995. Production and characteristics of protein hydrolysates from capelin (*Mallotus villosus*). **Food Chemistry**, 53, 285-293.

Sink, T. D., Lochmann, R. T., Pohlenz, C., Buentello, A., & Gatlin III, D. 2010. Effects of dietary protein source and protein–lipid source interaction on channel catfish (*Ictalurus punctatus*) egg biochemical composition, egg production and quality, and fry hatching percentage and performance. **Aquaculture**, 298(3-4), 251-259.

Sargent, J., McEvoy, L., Estevez, A., Bell, G., Bell, M., Henderson, J., & Tocher, D. 1999. Lipid nutrition of marine fish during early development: current status and future directions. **Aquaculture**, 179(1-4), 217-229.

Somboon, S. & W. Semachai. 2014. The effects of dietary lipid amount and fatty acids composition on growth performance of basa catfish (*Pangasius bocourti* Sauvage, 1 8 8 0). pp. 266-274. In **Proceedings of 52nd Kasetsart University Annual Conference: Fisheries, Agricultural Extension and Home Economics**. Bangkok: Kasetsart University.

Sorbera, L. A., Asturiano, J. F., Carrillo, M. & Zanuy, S. 2001. Effects of polyunsaturated fatty acids and prostaglandins on oocyte maturation in a marine teleost, the European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*). **Biology of Reproduction**. 64(1), 382-389.

Thongprajukaew, K. 2011. **Feed development using digestive enzyme technology for successive growth in Siamese fighting fish (*Betta splendens*) Regan, 1910)**. Doctoral Dissertation. Kasetsart University.

Uavechnichkul, R. 2009. **Knowledge Management of Analysis of Semen Quality**. [Online]. Available from http://www.dld.go.th/km/th/index.php (8 October 2012). [In Thai].

Vielma, J., & Lall, S. P. 1998. Phosphorus utilization by Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared in freshwater is not influenced by higher dietary calcium intake. **Aquaculture**, 160(1-2), 117-128.

Watanabe, T. 1982. Lipid nutrition in fish. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry**, 73(1), 3-15.

Wee, K. L. 1992. An overview of fish digestibility physiology and the relevance to the formulation of artificial fish feed. pp. 17-27. In Allan, G. L. and Dall, W. (editors), **Proceeding Aquaculture Nutrition workshop.** 15-17 April 1991. Australia: Salamander Bay.

Wood CM, McDonald G. 1988. Impact of environmental acidification on gill function in fish. Environmental Protection Agency, **International Symposium, Guangzhou**, 162–182.

Yang, Y., Xie, S., Cui, Y., Lei, W., Zhu, X., Yang, Y., & Yu, Y. 2004. Effect of replacement of dietary fish meal by meat and bone meal and poultry by-product meal on growth and feed utilization of gibel carp, *Carassius auratus* gibelio. **Aquaculture Nutrition**, 10(5), 289-294.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการผสมเทียมปลา

วิธีการเพาะผสมเทียมปลา

โดยใช้วิธีการผสมแบบแห้ง (dry method) การตรวจเช็ดพัฒนาการของไข่ และน้ำเชื้อจากการรีดบริเวณท้อง หากไข่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 0.3 มิลลิเมตร และน้ำเชื้อมีสีขาวขุ่น จึงคัดเลือกเพื่อนำมาเพาะขยายพันธุ์ได้ ซึ่งการผสมเทียมจะใช้ฮอร์โมน cinnafact® (LHRH-a) โดยเพศผู้ใช้ในอัตรา 5 ไมโครกรัม/กิโลกรัม และเพศเมียในอัตรา 15 ไมโครกรัม/กิโลกรัม และยาเสริมฤทธิ์ (motilium-m®) ใช้ 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทั้งเพศผู้และเพศเมีย

การคำนวณสารละลายฮอร์โมน

$$\text{cinnafact}^{®} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่ฉีด} \times \text{อัตราความเข้มข้นของฮอร์โมนที่จะฉีด}}{100}$$

motilium - m® = 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

น้ำกลั่น = น้ำหนักปลา (kg) - cinnafact® (cc)

ขั้นตอนการกระตุ้นพัฒนาการของไข่และน้ำเชื้อ

1. ชั่งน้ำหนักปลาเพื่อคำนวณสารละลายฮอร์โมนสำหรับฉีดปลาพ่อแม่พันธุ์
2. บด motilium-m® ในโกร่งบดยาให้ละเอียด (ตามที่คำนวณ)
3. ใส่น้ำเกลือความเข้มข้น 0.9 เปอร์เซ็ต์ ในโกร่งบดยา (ตามที่คำนวณ)
4. ใส่ฮอร์โมน cinnafact® ในโกร่งบดยาให้เป็นเนื้อเดียวกัน (ตามที่คำนวณ)
5. ใช้ syringe ดูดสารละลายในโกร่งบดยา และนำไปฉีดปลาพ่อแม่พันธุ์ (ฉีดบริเวณกล้ามเนื้อข้างครีบหลัง)

ขั้นตอนการผสมพันธุ์

1. รีดไข่ปลาลงในกะละมังที่แห้งและสะอาด ใช้ขนไก่ที่ทำความสะอาดคนไข่และน้ำเชื้อให้ผสมกันประมาณ 30 วินาที จึงเติมน้ำสะอาดลงไปในกะละมังประมาณเศษ 1 ส่วน 4 ของปริมาณไข่ และคนต่อไปอีกประมาณ 1 นาที รินน้ำทิ้งแล้วจึงเติมน้ำสะอาดอีกครั้งให้ท่วมไข่
2. ใช้สายยางดูดไข่ที่ผสมแล้วโรยลงแผงฟักไข่ให้ทั่วในบ่อซีเมนต์

ภาคผนวก ข

การเตรียม Super premix

การเตรียม Super premix

วัสดุอุปกรณ์

1. ผลพลอยได้จากปลาลูกผสมบึกสยามฯ
2. หม้อนึ่งความดัน
3. ตะกร้ากรอง
4. มีดสำหรับสับโครงกระดูกปลา
5. เขียงไม้
6. เตาแก๊สและถังแก๊ส
7. ตู้อบลมร้อน (Hot Ari Oven)
8. เครื่องปั่นละเอียด (Bosch)

ขั้นตอนการเตรียม Super premix

1. นำโครงกระดูกปลาของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้ที่ได้จากกระบวนการแล่เนื้อปลามาล้างทำความสะอาดและขูดเนื้อที่ติดกระดูกออกจากนั้นใช้มีดสับกระดูกปลาให้เป็นชิ้นเล็กๆ

2. นำกระดูกปลาที่สับละเอียดเรียบร้อยแล้วใส่ในหม้อนึ่งความดันปิดฝาให้สนิทแล้วตั้งบนเตาแก๊สเปิดแก๊สระดับไฟปานกลาง ใช้อุณหภูมิที่ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 psi และเวลาในการต้มประมาณ 5 ชั่วโมง

3. เมื่อต้มจนกระดูกปลาเปื่อยและนิ่มสังเกตได้จากการนำกระดูกปลามาบดให้ละเอียดด้วยมือจากนั้นก็ปิดแก๊สนำกระดูกที่ต้มไปเทน้ำออกกรองด้วยตะกล้าหรือกะละมังที่มีรูจากนั้นนำไปปั่นให้ละเอียด

4. เมื่อปั่นกระดูกปลาจนละเอียดแล้ว จากนั้นก็ตักใส่ถาดสำหรับนำไปเข้าตู้อบลมร้อน (Hot Ari Oven) ใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาประมาณ 72 ชั่วโมง

5. เมื่ออบกระดูกปลาที่ปั่นละเอียดจนแห้งแล้วเมื่อลองจับดูจะมีลักษณะเป็นแผ่นแข็งและแห้งสนิทจากนั้นนำไปปั่นให้ละเอียดเป็นผงอีกรอบด้วยเครื่องปั่น (Bocsh) ก็จะได้ผง Super premix สำหรับผสมในอาหารปลา

ภาคผนวก ค

การสกัดเอนไซม์จากลำไส้ปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้

การสกัดเอนไซม์จากสำไส้ปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้

วัสดุอุปกรณ์

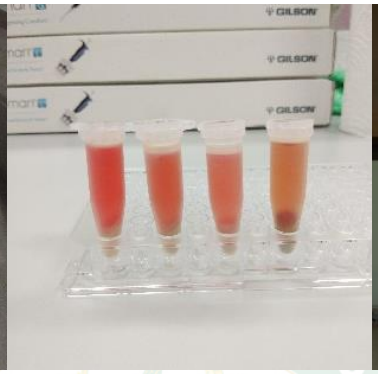
1. ปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้
2. ชุดเครื่องมือผ่าตัดปลา
3. กระดาษฟอยล์
4. ถังโฟมใส่น้ำแข็ง
5. น้ำแข็ง
6. ไมโครปิเปต
7. หลอด Microcentrifugetube ขนาด 1.5 ml
8. ครกบดยา
9. สาร Tris – HCl buffer ความเข้มข้น 50 mM pH 7.5
10. ปิเปตทิป
11. ตู้เย็นอุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส
12. ชั่งดิจิตอล

1. เตรียมปลาลูกผสมบึกสยามบึกสยามแม่โจ้ (F_3) ที่เลี้ยงในกระชังด้วยอาหารปลาทดแทนปลาป่นด้วย SP 3 ระดับ ทำการชั่งน้ำหนักและวัดความยาว จากนั้นแช่ปลาในน้ำแข็งเพื่อทำให้ปลาสลบและตายก่อนนำไปผ่าท้องเพื่อเก็บสำไส้ปลาต่อไป

2. นำปลาที่แช่ในน้ำแข็งจนตายแล้วมาผ่าท้องเพื่อเก็บลำไส้ปลาและชั่งน้ำหนักให้ได้ 0.5 กรัมจากนั้นห่อลำไส้ปลาด้วยกระดาษฟอยล์แล้วนำไปแช่ในน้ำแข็ง

3. นำลำไส้ปลาที่เก็บห่อด้วยฟอยล์แช่น้ำแข็งไว้มาใส่ในครกบดยาที่แช่อยู่บนน้ำแข็ง ทำการบดลำไส้ปลาโดยบดลำไส้ปลาใน Tris – HCI buffer ความเข้มข้น 50 mM pH 7.5

4. จากนั้นนำตัวอย่าง centrifuge ที่ความเร็วรอบ 15,000 รอบ/นาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เก็บส่วนที่เป็นของเหลวด้านบน (supernatant) ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการวิเคราะห์กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ต่อโปรตีน



ภาคผนวก ง

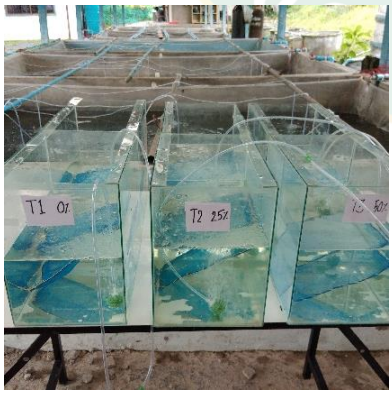
การปฏิบัติงาน

ภาพผนวกที่ 1 การฉีดฮอร์โมนปลา

ภาพผนวกที่ 2 การชั่งน้ำหนักไข่

ภาพผนวกที่ 3 บ่อฟักไข่ปลา

ภาพผนวกที่ 4 การนับจำนวนไข่ปลา



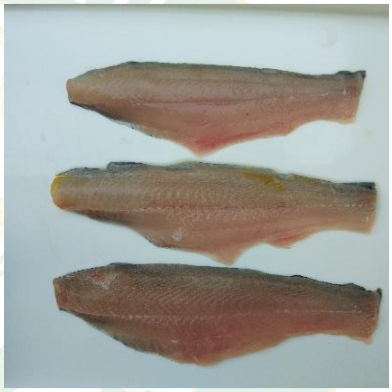
ภาพผนวกที่ 5 การตรวจอัตราการฟัก

ภาพผนวกที่ 6 การเตรียมตู้กระจกสำหรับอนุบาลลูกปลาอายุ 20 วัน หลังการฟัก

ภาพผนวกที่ 7 ปลาลูกผสมบึกสยามฯ วัยอ่อน

ภาพผนวกที่ 8 ลูกปลาอายุ 1 เดือน

ภาพผนวกที่ 9 ปลาลูกบึกสยามฯ 3 เดือน



ภาพผนวกที่ 10 ลักษณะเนื้อปลาอายุ 3 เดือน

ภาคผนวก จ
ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายธนทัต สุขศรี

เกิดเมื่อ 26 พฤศจิกายน 2533

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2554 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) วิทยาลัยประมงติณสูลานนท์ จังหวัดสงขลา

พ.ศ. 2556 ระดับปริญญาตรี คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

ประวัติการทำงาน

1. นำเสนอผลงานวิจัย: ธนทัต สุขศรี, สุดาพร ตงศิริ, ธีระพล เสนพันธุ์, สุภาพร สัตตัง และเกรียงศักดิ์เม่งอำพัน. 2561. ผลของการเสริม Super premix (SP) ต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพเนื้อของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้. น. 38. ใน การประชุมวิชาการ และการประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ. วันที่ 17-18 พฤษภาคม 2561 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่.
2. การตีพิมพ์ผลงานวิจัย: เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน, ธนทัต สุขศรี, สุภาพร สัตตัง และสุดาพร ตงศิริ. 2565. ผลการทดแทนปลาป่นด้วยผลพลอยได้จากกระบวนการแล่เนื้อปลาในอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลาลูกผสมบึกสยามแม่โจ้. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร, 39(2).
3. รางวัล: Gold medal จากงาน ARCHIMEDES 2018 MOSCOW RUSSIA, The best excellent of honor Special จากประเทศโรมาเนีย, รางวัล Special Award จาก Chinese Innovation & Invention Society (CIIS) จากประเทศไต้หวัน เรื่อง innovative feeds for catfish aquaculture industry (นวัตกรรมอาหารสำหรับอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงปลาหนัง) โดย ศ.ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน และคณะนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ได้แก่ นางสาวสุภาพร สัตตัง, นายกรณ์ เม่งอำพัน, นายธนทัต สุขศรี และผศ.ดร.ดวงพร อมรเลิศพิศาล
4. อีเมล: oh2533seahunter@gmail.com