รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การศึกษาสูตรอาหารเลี้ยงปลาดุกลูกผสม (*Clarias macrocephalus* X *Clarias gariepinus*) เพื่อเลี้ยงเป็นวัตถุดิบสำหรับแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลาดุกร้า

The Studies on Feed Formula for Hybrid Catfish (*Clarias macrocephalus* X *Clarias gariepinus*) for the Production to Raw Material of Salted Fermented Catfish

สุภฎา คีรีรัฐนิคม

อานุช คีรีรัฐนิคม

กฤษณะ เรืองคล้าย

พันธสิทธิ์ โชคสวัสดิกร

อมรรัตน์ ถนนแก้ว

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจาก

งบประมาณเงินแผ่นดิน มหาวิทยาลัยทักษิณ

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 - 2555

คำรับรองคุณภาพ

รายงานวิจัยเรื่อง การศึกษาสูตรอาหารเลี้ยงปลาดุกลูกผสม (*Clarias macrocephalus X Clarias gariepinus*) เพื่อเลี้ยงเป็นวัตถุดิบสำหรับแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลาดุกร้า

ผู้วิจัย สุภฎา คีรีรัฐนิคม และคณะ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ ขอรับรองว่ารายงานวิจัยฉบับนี้ได้ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว มีความเห็นว่าผลงานวิจัยฉบับนี้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์

- ☐ ดีมาก
- ☒ ดี
- ☐ ปานกลาง
- ☐ ต่ำ

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพันธุ์ เขมคุณาศัย)

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

19 มีนาคม 2556

คำนำ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ได้ให้ความกรุณาช่วยเหลือ และอำนวยการในการขอรับงบประมาณจากเงินงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยทักษิณในครั้งนี้ ขอบคุณผู้ประกอบการแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลาดุกร้า และบรรพบุรุษผู้ถ่ายทอดภูมิปัญญาอาหารแปรรูปพื้นบ้านนี้ให้ตกทอดจนถึงปัจจุบัน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำคณะวิทยาศาสตร์ และคณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง รวมทั้งศิษย์เก่า และศิษย์ปัจจุบัน ที่ต่างให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัย และเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ผลการทดลอง ยังผลให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง และบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ทุกประการ

คณะผู้วิจัย

พฤศจิกายน 2555

การศึกษาสูตรอาหารเลี้ยงปลาดุกลูกผสม (*Clarias macrocephalus* X *Clarias gariepinus*) เพื่อเลี้ยงเป็นวัตถุดิบสำหรับแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลาดุกร้า

บทคัดย่อ

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของระดับโปรตีน และไขมันในอาหารต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลาดุกลูกผสมเพื่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลาดุกร้า โดยทดลองเลี้ยงปลาดุกลูกผสมขนาดเฉลี่ย 5.83-5.85 กรัมต่อตัว ในตู้ทดลองปริมาตรน้ำ 100 ลิตรด้วยอาหารทดลองที่มีโปรตีน 32-38% โดยใช้ไขมันในอาหาร 8-16% เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าการใช้อาหารทดลองที่มีโปรตีน 38% มีผลให้ปลาดุกลูกผสมมีการเจริญเติบโตดี และมีการแลกเนื้อต่ำที่สุด อาหารที่มีระดับไขมัน 11-14% มีผลให้ปลาดุกลูกผสมมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน แต่การใช้อาหารที่มีไขมัน 14% มีผลให้ปริมาณไขมันในเนื้อปลาเพิ่มสูงขึ้นซึ่งไม่เป็นผลดีในการนำเนื้อปลามาใช้ในการแปรรูป ดังนั้นอาหารที่มีโปรตีน 38% และไขมัน 11% จึงเป็นอาหารที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้เลี้ยงปลาดุกลูกผสมเพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลาดุกร้า

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของวัตถุดิบโปรตีนทดแทน ได้แก่ กากถั่วเหลือง และเศษไก่ป่น ในระดับการทดแทนในอาหาร 25-75% ของโปรตีนจากปลาป่น ดำเนินการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมขนาดเฉลี่ย 5.02-5.03 กรัมต่อตัว ในตู้ทดลองปริมาตรน้ำ 100 ลิตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าการใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในปริมาณ 25% ของโปรตีนจากปลาป่น (19-20% ในสูตรอาหาร) จะส่งผลปลาให้มีการเจริญเติบโตสูง อัตราการแลกเนื้อต่ำ และมีปริมาณไขมันในเนื้อน้อยลง

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของคาร์โบไฮเดรตจากแหล่งต่างๆ ในสูตรอาหารที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 1-2 โดยทดลองเลี้ยงปลาดุกลูกผสมขนาดเฉลี่ย 8.51-8.52 กรัมต่อตัว ในตู้ทดลองปริมาตรน้ำ 100 ลิตรด้วยอาหารทดลองที่มีคาร์โบไฮเดรตจากแหล่งต่างๆ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าการใช้รำละเอียด ข้าวโพดป่น กากปาล์ม และมันสำปะหลังบดในอาหารไม่มีผลต่อน้ำหนักเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโต อัตราแลกเนื้อ การรอดตาย ตลอดจนค่า Condition factor และ hepatosomatic index และการนำโปรตีนสะสมในร่างกาย (protein retention efficiency) แต่การใช้มันสำปะหลังบด รำละเอียด และข้าวโพดป่นเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตมีผลให้ปริมาณโปรตีนในเนื้อปลาสูง ขณะที่ปลาดุกลูกผสมที่ได้รับมันสำปะหลังบด และข้าวโพดป่นเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต มีปริมาณไขมันในเนื้อต่ำกว่าการใช้รำละเอียด แต่ด้วยเหตุผลด้านราคาวัตถุดิบ จึงเลือกใช้มันสำปะหลังบดเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในอาหารปลาดุกลูกผสมเพื่อเลี้ยงเป็นวัตถุดิบสำหรับแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลาดุกร้า

การทดลองที่ 4 ศึกษาปริมาณผลผลิต และประสิทธิภาพการผลิตปลาดุกลูกผสมเพื่อการแปรรูปเป็นปลาดุกร้า โดยใช้อาหารทดลองที่มีความเหมาะสมที่สุดจากการทดลอง 1-3 เปรียบเทียบกับการใช้อาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า โดยเลี้ยงปลาขนาด 7.39-7.54 กรัมต่อตัว ในกระชังในบ่อดิน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าการใช้อาหารทดลองที่มีโปรตีน 38% ไขมัน 11% โดยการใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนในปริมาณ 25% ของโปรตีนจาก

ปลาป่น และใช้มันสำปะหลังบดเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต 14.22 % ในสูตรอาหาร ทำให้ปริมาณโปรตีนในเนื้อปลาสูงขึ้น 27.44% ขณะที่ไขมันในเนื้อปลาลดลง 23.50% นอกจากนี้ยังมีผลให้ต้นทุนค่าอาหารในการผลิตลดต่ำลง 5.61 บาทต่อผลผลิตปลา 1 กิโลกรัม หรือลดต้นทุนลงได้ 19.08% เมื่อเทียบกับการใช้อาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า

คำสำคัญ : ปลาดุกร้า สูตรอาหาร คุณภาพเนื้อ

มหาวิทยาลัยทักษิณ THAKSIN UNIVERSITY

The Studies on Feed Formula for Hybrid Catfish (*Clarias macrocephalus* X *Clarias gariepinus*) for the Production to Raw Material of Salted Fermented Catfish

Abstract

Experiment I was undertaken to determined the effects of dietary protein and lipid levels on growth performances, survivals and chemical compositions of hybrid catfish. Hybrid catfish with an average body weigh of 5.83-5.85 g were kept in 100 l glass aquaria and fed with the test diets contained 32-38% protein with 8-16% lipids for 6 weeks. The test diet with 38% protein resulted in high growth performance accompanying with the lowest feed conversion rate. Growth performances of the hybrid catfish fed test diets contain 11-14% lipid were not different, but test diet with 14% lipid resulted in rising of flesh lipid content, which is an undesirable characteristic of the raw material for product processing. So, the test diet contains 38% protein and 11% lipid was an optimal feed for applied as practical feed for the grow-out of hybrid catfish as raw material for the production of salted fermented catfish.

Experiment II was evaluated on the effects of soy bean meal and poultry by product as alternative protein sources, each test material was substitution at 25-75% of dietary fishmeal. Hybrid catfish with average body weigh of 5.02-5.03 g were reared in 100 l glass aquaria for 6 weeks. Results shown the using of soy bean meal at 25% substitution of fishmeal protein (19-20% in feed composition) gave the high growth performance with low feed conversion rate and lower of flesh lipid content.

Experiment III was determined the effects of various carbohydrate sources in the suitable catfish diet (results from experiment I-II). Rearing the hybrid catfish with an average body weigh of 8.51-8.52 g in 100 l glass aquaria, feeding the fish with each test diet supplemented with various carbohydrate source for 6 weeks. Using of rice bran, corn meal, palm kernel meal and cassava were not affected to the catfish body weigh, weigh gain, FCR and survival. Condition factor and hepatosomatic index and protein retention efficiency also not differ from those fed all test diet. But the test diet supplemented with cassava, rice bran and corn meal as carbohydrate source resulted in increasing of flesh protein content. Moreover, flesh lipid content in the hybrid catfish received test diets contained cassava and corn meal were lower than rice bran. By the economically reason, cassava was selected as suitable carbohydrate source in practical feed for the grow-out of hybrid catfish as raw material for the production of salted fermented catfish.

Experiment IV studied on the production efficiency of practical feed for the grow-out of hybrid catfish as raw material for the production of salted fermented catfish. The study was conducted by using suitable

catfish diet (results from experiment I-III) compared to the commercial feed for juvenile hybrid catfish, hybrid catfish with 7.39-7.54 g average body weigh were kept in nylon cage in the same earthen pond for 6 weeks period. Catfish fed suitable catfish experimental diet (contained 38% protein, 11% lipid with soy bean meal at 25% substitution of fishmeal protein and 14.22% cassava as carbohydrate source) showed 27.44% increasing of flesh protein content and 23.50% lowering of flesh lipid content. Furthermore, 5.61 bath/kg of feed cost reduction can be archived with suitable catfish experimental diet, or gave 19.08% feed cost reduction compared to those fed juvenile hybrid catfish commercial feed.

Key words : salted fermented catfish, feed formula, meat quality

มหาวิทยาลัยทักษิณ THAKSIN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1 บทนำ	**1**
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	**3**
ความต้องการโปรตีนของปลา	3
ความต้องการสารอาหารให้พลังงานของปลาดุก	4
ผลของโปรตีนในอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลา	4
การใช้วัตถุดิบพืชเป็นเหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารสัตว์น้ำ	5
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	**9**
การทดลองที่ 1 : ผลของระดับโปรตีน และไขมันในอาหารต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของปลาดุกลูกผสม	9
แผนการทดลอง	9
การเตรียมปลาทดลอง	9
การเตรียมอาหารทดลอง	9
การเก็บข้อมูล	11
การตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา	11
การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี	12
การตรวจสอบ hepatosomatic index, condition factor ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และค่าการสะสมโปรตีน (protein retention)	12
การวิเคราะห์ข้อมูล	13
การทดลองที่ 2 : ผลของโปรตีนจากแหล่งต่างๆ ต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของปลาดุกลูกผสม	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
แผนการทดลอง	13
การเตรียมปลาทดลอง	13
การเตรียมอาหารทดลอง	13
การเก็บข้อมูล	15
การตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา	15
การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี	16
การตรวจสอบ hepatosomatic index, condition factor ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และค่าการสะสมโปรตีน (protein retention)	16
การวิเคราะห์ข้อมูล	16
การทดลองที่ 3 : ผลของคาร์โบไฮเดรตจากแหล่งต่างๆ ต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของปลาดุกลูกผสม	17
แผนการทดลอง	17
การเตรียมปลาทดลอง	17
การเตรียมอาหารทดลอง	17
การเก็บข้อมูล	19
การตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา	19
การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี	19
การตรวจสอบ hepatosomatic index, condition factor ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และค่าการสะสมโปรตีน (protein retention)	19
การวิเคราะห์ข้อมูล	20
การทดลองที่ 4 : ผลของสูตรอาหารต่อปริมาณผลผลิต และประสิทธิภาพการผลิตปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในกระชังในบ่อดิน	21
แผนการทดลอง	21
การเตรียมปลาทดลอง	21
การเก็บข้อมูล	21
การตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา	21
การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของสูตรอาหารทดลอง	22
การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี	22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การตรวจสอบ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และค่าการสะสมโปรตีน (protein retention) 22

การวิเคราะห์ข้อมูล 23

บทที่ 4 ผลการทดลอง **24**

ผลการทดลองที่ 1 : ผลของระดับโปรตีน และไขมันในอาหารต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของปลาดุกลูกผสม 24

การเจริญเติบโตของปลา 24

องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา 25

ผลการทดลองที่ 2 : ผลของโปรตีนจากแหล่งต่างๆ ต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของปลาดุกลูกผสม 32

การเจริญเติบโตของปลา 32

องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา 33

ผลการทดลองที่ 3 : ผลของคาร์โบไฮเดรตจากแหล่งต่างๆ ต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของปลาดุกลูกผสม 40

การเจริญเติบโตของปลา 40

องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา 40

ผลการทดลองที่ 4 : ผลของสูตรอาหารต่อปริมาณผลผลิต และประสิทธิภาพการผลิตปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในกระชังในบ่อดิน 44

การเจริญเติบโตของปลา 44

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการสะสมในตัวปลา 44

องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา 45

องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา 45

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของสูตรอาหารทดลอง 45

บทที่ 5 วิจารณ์ และสรุปผลการทดลอง **48**

เอกสารอ้างอิง **54**

ภาคผนวก **58**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สูตรอาหารที่มีโปรตีน และไขมันระดับต่างๆ สำหรับเลี้ยงปลาดุกลูกผสม (%) (การทดลองที่ 1)	10
2	องค์ประกอบทางเคมี (%) ของอาหารทดลองแต่ละสูตรก่อนนำมาใช้ในการทดลองที่ 1	11
3	สูตรอาหารทดลองที่ใช้กากถั่วเหลือง และเศษไก่ป่นทดแทนปลาป่นในระดับต่างๆ (การทดลองที่ 2)	14
4	องค์ประกอบทางเคมี (%) ของอาหารทดลองแต่ละสูตรก่อนนำมาใช้ในการทดลองที่ 2	15
5	สูตรอาหารทดลองที่ใช้คาร์โบไฮเดรตจากแหล่งต่างๆ สำหรับปลาดุกลูกผสม (การทดลองที่ 3)	18
6	องค์ประกอบทางเคมี (%) ของอาหารทดลองแต่ละสูตรก่อนนำมาใช้ในการทดลองที่ 3	18
7	น้ำหนักเฉลี่ย (g/fish) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตร เป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 1)	26
8	อัตราการเจริญเติบโต (%), อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/day), FCR และ การรอดตาย (%)ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 1)	27
9	Condition factor และ hepatosomatic index ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลอง แต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 1)	28
10	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และการนำโปรตีนสะสมในร่างกาย (protein retention efficiency) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลอง แต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 1)	29
11	องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลอง แต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 1)	30
12	องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลอง แต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 1)	31
13	น้ำหนักเฉลี่ย (g/fish) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตร เป็นเวลา 6 สัปดาห์(การทดลองที่ 2)	34

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	อัตราการเจริญเติบโต (%), อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/day), FCR และการรอดตาย (%)ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตร เป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 2)	35
15	Condition factor และ hepatosomatic index ของปลาดุกลูกผสม ที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 2)	36
16	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และการนำโปรตีนสะสมในร่างกาย (protein retention efficiency) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตร เป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 2)	37
17	องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตร เป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 2)	38
18	องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตร เป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 2)	39
19	น้ำหนักเฉลี่ย (g/fish) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์(การทดลองที่ 3)	41
20	อัตราการเจริญเติบโต (%), อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/day), FCR และการรอดตาย (%) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 3)	41
21	Condition factor และ hepatosomatic index ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละ สูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 3)	41
22	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และการนำโปรตีนสะสมในร่างกาย (protein retention efficiency) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 3)	42
23	องค์ประกอบทางเคมี (%) ของตัวปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็น เวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 3)	42
24	องค์ประกอบทางเคมี (%) ของเนื้อปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็น เวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 3)	43
25	น้ำหนักเฉลี่ย (g/fish) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์(การทดลองที่ 4)	46

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
26	อัตราการเจริญเติบโต (%), อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/day), FCR และการรอดตาย(%) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 4)	46
27	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และการนำโปรตีนสะสมในร่างกาย (protein retention efficiency) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 4)	46
28	องค์ประกอบทางเคมี (%) ของตัวปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 4)	47
29	องค์ประกอบทางเคมี (%) ของเนื้อปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 4)	47
30	ต้นทุนค่าอาหารของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตร เป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 4)	47

บทที่ 1

บทนำ

ปลาดุกลูกผสม (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*) เป็นปลาน้ำจืดมีการเจริญเติบโตเร็วเลี้ยงได้ในอัตราที่หนาแน่นและให้ผลผลิตสูงและเป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง เดิมเกษตรกรนิยมเลี้ยงปลาดุกเพื่อเป็นอาหารโปรตีนสำหรับครอบครัว แต่ในปัจจุบันได้มีการส่งเสริมให้มีการเพาะเลี้ยงเพื่อการค้า และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทั้งนี้ปัญหาของอุตสาหกรรมการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมคือต้นทุนอาหาร และคุณภาพเนื้อที่ไม่เหมาะสมต่อการแปรรูป ซึ่งเป็นผลมาจากสารอาหารที่ปลาได้รับ ดังนั้นการผลิตอาหารที่มีระดับของโภชนะที่เหมาะสมกับปลาชนิดนั้นๆ จะทำให้ปลาได้รับอาหารดังกล่าวมีการเจริญเติบโตที่ดีและมีต้นทุนการผลิตต่ำ ซึ่งตามปกติเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาจะใช้อาหารสำเร็จรูปทางการค้าที่มีโปรตีน 25-30% เป็นอาหารเลี้ยงปลา แต่จากข้อมูลการทดลองพบว่าปลาในสกุลปลาดุกมีความต้องการโปรตีนในอาหารประมาณ 36-40% (Degani *et al.*,1989; Van Weerd, 1995) โดยที่มีระดับความต้องการพลังงานอยู่ในช่วง 13-17 kJ / g และสามารถใช้คาร์โบไฮเดรตจาก polysaccharide ชนิดต่างๆ เป็นแหล่งของพลังงานได้ดี (Van Weerd, 1995) อย่างไรก็ตามในปลาดุกที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีความต้องการโปรตีนลดลง Murthy and Naik (1999) รายงานว่าปลาดุกแอฟริกันมีการเจริญเติบโตสูงสุดเมื่อได้รับอาหารที่มีโปรตีน 34.62% และไขมัน 12.12% ทั้งนี้อัตราส่วนโปรตีนต่อไขมันในอาหารควรมีค่า 18.57 จึงจะมีผลให้อัตราการเจริญเติบโตของปลาสูงสุด นอกจากนี้ปลาจะมีการสะสมไขมันในร่างกายเพิ่มขึ้น และโปรตีนลดลงเมื่อได้รับอาหารที่มีโปรตีนต่ำ อย่างไรก็ตามโปรตีนเป็นสารอาหารที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของอาหารสัตว์น้ำและมีราคาแพง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทราบถึงความต้องการโปรตีนของปลา เนื่องจากปริมาณโปรตีนในอาหารที่มีมากเกินความต้องการ ส่วนที่เกินนั้นจะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานและหากปลาได้รับอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ซึ่งเป็นแหล่งให้พลังงานต่ำกว่าความต้องการ โปรตีนจะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานทำให้ต้นทุนค่าอาหารสูงขึ้น การให้อาหารที่มีพลังงานอย่างเพียงพอและเหมาะสม จะช่วยให้การใช้ประโยชน์จากโปรตีนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (วิมล, 2536) เนื่องจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณโปรตีนต่ำจะมีการสะสมไขมันในผิวหนัง และกล้ามเนื้อสูงกว่าปกติ เมื่อนำมาแปรรูปจะผลกระทบในทางลบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ทั้งในด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และระยะเวลาในการเก็บรักษา

ดังนั้นการศึกษาความต้องการโปรตีน และพลังงานของปลาดุกลูกผสมจะเป็นประโยชน์ในการสร้างสูตรอาหารที่มีต้นทุนต่ำ และยังส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ดีและองค์ประกอบเนื้อปลาตรงตามความต้องการของผู้บริโภค

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทราบถึงผลของระดับโปรตีน และไขมันในอาหารต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลาดุกลูกผสมในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลาดุกร้า

2. เพื่อทราบถึงผลของวัตถุดิบทดแทนปลาป่นในอาหารต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลาดุกลูกผสมในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลาดุกร้า

3. เพื่อทราบถึงผลของคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆ ในอาหารต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลาดุกลูกผสมในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลาดุกร้า

4. เพื่อทราบถึงผลของสูตรอาหารต่อปริมาณผลผลิต และประสิทธิภาพการผลิตปลาดุกลูกผสมในบ่อดิน เพื่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลาดุกร้า

ขอบเขตของโครงการวิจัย

ศึกษาผลของระดับโปรตีน และไขมันในอาหารปลาดุกลูกผสม ตลอดจนศึกษาผลของวัตถุดิบทดแทนโปรตีนจากปลาป่น และการใช้วัตถุดิบพืชท้องถิ่นเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในอาหาร โดยพิจารณาจากค่าอัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลา ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า

กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

การผลิตปลาดุกร้าจำเป็นต้องใช้วัตถุดิบปลาดุกลูกผสมที่มีคุณภาพเนื้อที่ดี โดยเฉพาะมีปริมาณโปรตีนในเนื้อสูง และไขมันต่ำ ทั้งนี้ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้ามักมีองค์ประกอบโปรตีนต่ำ และไขมันสูงในเนื้อ ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาเป็นผลที่เกิดจากคุณภาพอาหารที่ใช้เลี้ยงปลาโดยตรง ปลาที่ได้รับสารอาหารไม่เหมาะสมจะมีองค์ประกอบโปรตีนในตัวปลาต่ำกว่าปกติ ตลอดจนเกิดการสะสมไขมันในร่างกาย การพัฒนาสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงปลาดุกที่ส่งผลให้ปลาดุกลูกผสมมีปริมาณโปรตีนในเนื้อสูงขึ้นตลอดจนปริมาณไขมันที่ลดต่ำลง จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ปลาดุกแปรรูปมีคุณภาพที่ดีขึ้น เป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การแปรรูป และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าผลผลิตการเกษตรได้อีกทางหนึ่ง

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

ปลาดุกลูกผสมสามารถจัดลำดับหมวดหมู่ทางหลักอนุกรมวิธาน ได้ดังนี้

Phylum Chordata

Order Siluriformes

Family Claridae

Genus *Clarias*

ปลาดุกลูกผสมเป็นปลาที่ได้จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างปลาดุกอุยเพศเมีย(*Clarias macrocephalus*) กับปลาดุกเทศเพศผู้ (*Clarias gariepinus*) เป็นที่นิยมเลี้ยงของเกษตรกร เนื่องจากเลี้ยงง่าย มีอัตราการเจริญเติบโตสูง และมีความทนทานต่อโรคและสภาพแวดล้อมได้เป็นอย่างดีและมีการบริโภคอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีรสชาติดีและราคาถูก

ความต้องการโปรตีนของปลา

สัตว์น้ำแต่ละชนิดมีความต้องการโปรตีนแตกต่างกัน แม้ว่าจะเป็นสัตว์น้ำชนิดเดียวกันความต้องการโปรีตนแตกต่างกันตามสภาพร่างกายและสิ่งแวดล้อม เช่น อายุและช่วงเวลาของการสืบพันธุ์ อุณหภูมิ อัตราการให้อาหาร ระบบการเลี้ยง ตลอดจนคุณภาพโปรตีน หรือความสมดุลของกรดอะมิโน และสัดส่วนของอาหารอื่นที่มีอยู่ในอาหาร ทั้งนี้สัตว์น้ำมีความต้องการโปรตีนเพื่อ

1. การเจริญเติบโต โปรตีนจะช่วยให้ร่างกายเจริญเติบโต มีขนาดและน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างสมส่วน

2. การดำรงชีวิต โปรตีนจะช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ เป็นเอนไซม์ ฮอร์โมน และภูมิคุ้มกันที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีวิต

3. การสืบพันธุ์ โปรตีนจะทำให้พ่อแม่พันธุ์สมบูรณ์เพศและสามารถสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ การพัฒนาอาหารย่อมทำให้สัตว์น้ำเจริญเติบโต มีสุขภาพแข็งแรงสามารถสืบพันธุ์และดำรงชีวิตอยู่ได้ แต่ในเรื่องการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นการเลี้ยงเพื่อหวังผลผลิต ซึ่งผลผลิตที่ต้องการอาจจะเป็นช่วงใดช่วงหนึ่งของชีวิตและยังต้องพิจารณาถึงต้นทุนการผลิตด้วย การพัฒนาอาหารจึงมุ่งหวังไปที่ผลผลิตหรือประโยชน์ที่จะได้รับมากกว่า เช่น สูตรอาหารเฉพาะสำหรับพ่อแม่พันธุ์หรือสูตรอาหารที่เน้นเรื่องการเจริญเติบโตเพียงอย่างเดียว เป็นต้น (โชคชัย, 2547)

ความต้องการสารอาหารให้พลังงานของปลาดุก

จากรายงานการศึกษาความต้องการสารอาหารที่ให้พลังงาน ซึ่งได้แก่ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตของปลาดุกในครอบครัว Claridae ได้แก่ *Clarias gariepinus, C. isheriensis, C. batrachus* และ *C. fuscus* พบว่าความต้องการโปรตีนมีค่าประมาณ 40 % โดยที่มีระดับความต้องการพลังงานอยู่ในช่วง 13-17 kJ / g และสามารถใช้คาร์โบไฮเดรตจาก polysaccharide ชนิดต่างๆ เป็นแหล่งของพลังงานได้ดี (Van Weerd, 1995) อย่างไรก็ตามในปลาดุกที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีความต้องการโปรตีนลดลง Murthy and Naik (1999) รายงานว่าปลาดุกแอฟริกันมีการเจริญเติบโตสูงสุดเมื่อได้รับอาหารที่มีโปรตีน 34.62% และไขมัน 12.12% ทั้งนี้อัตราส่วนโปรตีนต่อไขมันในอาหารควรมีค่า 18.57 จึงจะมีผลให้อัตราการเจริญเติบโตของปลาสูงสุด แต่ปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณโปรตีน 29.85% และไขมัน 18.08% จะมีการรอดตาย การแลกเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio) สูงที่สุด นอกจากการศึกษาด้านระดับของโปรตีนต่อไขมันแล้ว Juancey and Ali (2004) ได้รายงานถึงผลของระดับคาร์โบไฮเดรตต่อไขมันในอาหารปลาดุกแอฟริกัน โดยพบว่าปลามีการเจริญเติบโตสูงสุดเมื่อได้รับอาหารที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 27-38% และไขมัน 11-16% โดยที่มีอัตราส่วนของคาร์โบไฮเดรตต่อไขมันอยู่ในช่วง 1.7-3.4 สำหรับการศึกษาความต้องการสารอาหารในปลาดุกลูกผสมนั้น พบว่าปลาดุกลูกผสม *Clarias gariepinus* × *Heterobranchus bidorsalis* ที่มีขนาด 12.53±0.35 กรัมต่อตัว มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดเมื่อได้รับอาหารที่มีปริมาณโปรตีน 40 % ในอัตราการให้อาหาร 5 % ของน้ำหนักตัวต่อวัน (Adebayo, 2005) ขณะที่ Giri *et al.* (2003) รายงานว่าปลาดุกลูกผสม (*C. bratachus* X *C. gariepinus*) ที่ได้รับอาหารมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า 35% จะมีค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER)

ผลของโปรตีนในอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลา

ความต้องการโปรตีนของปลาเพื่อการเจริญเติบโตขึ้นอยู่กับชนิดของปลา ปลาที่กินเนื้อส่วนใหญ่ต้องการโปรตีนสูงประมาณมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 35 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่กินพืชและปลาที่กินทั้งพืชและเนื้อต้องการโปรตีนต่ำกว่าประมาณร้อยละ 20-25 และ 25-35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปลาที่กินเนื้อต้องการโปรตีนสูงกว่าปลาที่กินพืชและปลาที่กินทั้งพืชและเนื้อ (วีรพงศ์, 2536) นำชัยและวิรัช (2539) ได้ทดลองเลี้ยงปลาหมอในตู้กระจก ที่น้ำหนักเริ่มต้น 0.438 กรัม ด้วยอาหารโปรตีน 3 ระดับ คือ 25, 30 และ 35 เปอร์เซ็นต์ โดยอาหารแต่ละสูตรมีพลังงานรวมประมาณ 2,900 kcl ME/kg เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารทำให้ปลาหมอไทยเจริญเติบโตดีที่สุด โดยทดสอบจากค่าน้ำหนักเพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการรอดตาย และความยาวเพิ่ม นอกจากนั้นยังพบว่าระดับโปรตีนในอาหารที่ทำการทดลองไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ นำชัย และคณะ (2540) ได้ทดลองศึกษาระดับโปรตีนและความหนาแน่นที่เหมาะสมสำหรับ

การเลี้ยงปลาหมอในกระชัง โดยทดลองปล่อยปลาที่ความหนาแน่น 100, 200 และ 300 ตัว/ตารางเมตร และให้อาหารที่มีระดับโปรตีน 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยอาหารแต่ละสูตรมีพลังงานรวมประมาณ 3,000 kcl ME/kg ซึ่งเลี้ยงเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าปลาหมอที่เลี้ยงในกระชังที่ความหนาแน่น 200 ตัว/ตารางเมตร และเลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ต้นทุนค่าอาหาร และอัตราการรอดตายดีที่สุด

วุฒิพร และคณะ (2540) รายงานว่าจากการศึกษาระดับโปรตีนในอาหารที่เหมาะสมต่อลูกปลากดเหลืองขนาด 1 นิ้ว โดยมีโปรตีนต่างกัน 5 ระดับ คือ 24, 30, 36, 42 และ 48 เปอร์เซ็นต์ มีพลังงานย่อย 320 กิโลแคลอรี/อาหาร 100 กรัม ปลากดเหลืองน้ำหนักเฉลี่ย 0.62 กรัม ระยะเวลาในการเลี้ยง 6 สัปดาห์ พบว่าระดับโปรตีนในอาหาร 36 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดที่ให้การเจริญเติบโตสูงสุด

Degani *et al.* (1989) ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกยักษ์ ที่น้ำหนักเริ่มต้น 10-12 กรัม พบว่า ลูกปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมที่มีระดับโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการเจริญเติบโตของปลาดุกยักษ์ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมโปรตีน 25, 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์

Espinos *et al.* (2003) ได้ทดลองศึกษาผลของระดับโปรตีนและพลังงานต่างกันต่อการเจริญเติบโตของปลา Dentex (*Dentex dentex*) ที่น้ำหนักเริ่มต้น 2.5 กรัม โดยมีอาหารทดลอง 12 สูตร ประกอบด้วยโปรตีน 4 ระดับ คือ 40, 45, 50 และ 55 เปอร์เซ็นต์ แต่ละระดับโปรตีนมีไขมันรวม 3 ระดับ คือ 12, 17 และ22 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดลองเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าปลา Dentex ที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับไขมัน 22 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนดีที่สุด ในขณะเดียวกันอาหารที่มีระดับโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับไขมัน 12 และ 17 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตดีที่สุด ดังนั้นอาหารที่มีระดับโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับไขมัน 12 และ 17 เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับปลา Dentex ขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 22-25 กรัม

การใช้วัตถุดิบพืชเป็นเหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารสัตว์น้ำ

พืชจำนวนมากมีปริมาณโปรตีนสูงมากเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารปลา โดยเฉพาะพืชที่เมล็ดมีน้ำมัน เช่น ถั่วต่างๆ โดยเฉพาะถั่วเหลืองนับเป็นพืชโปรตีนสูงที่มีการประยุกต์ใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารปลาอย่างแพร่หลาย แม้ว่าจะขาดกรดอะมิโนจำเป็นโดยเฉพาะ methionine รวมทั้งยังอาจมีการปนเปื้อนของสารยับยั้งการย่อย ได้แก่ protease (trypsin) inhibitor, phytohaemagglutinin และ anti vitamin แต่ทั้งนี้สามารถทำลายสารยับยั้งการย่อยดังกล่าวได้เมื่อผ่านความร้อนให้กับถั่วเหลืองก่อนที่จะนำมา ใช้ผสมในอาหารปลา (Tacon, 1996) เนื่องจากถั่วเหลืองขาด

กรดอะมิโนจำเป็นบางชนิด โดยเฉพาะ methionine จึงเหมาะที่จะใช้ทดแทนปลาป่นในอาหารสัตว์น้ำได้บางส่วน หรืออาจประยุกต์ใช้ร่วมกับการเสริม methionine อิสระลงในอาหารปลา ในอาหารปลาที่มีโปรตีนสูงๆ มักสามารถใช้ถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในสัดส่วนที่มากขึ้นได้ อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิต หรือขั้นตอนการเตรียมถั่วเหลืองมีผลอย่างมากต่อคุณภาพ การใช้ความร้อนสูงในการผลิตถั่วเหลืองหรือกากถั่วเหลืองป่นจะช่วยทำลาย protease inhibitor ที่มีในถั่วดิบได้ รวมทั้งยังช่วยทำลายผนังเซลล์ที่มีองค์ประกอบเป็น cellulose ทำให้ปลาสามารถย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น นอกจากถั่วเหลือง และกากถั่วเหลืองแล้ว เมล็ดนุ่น repeseed งา และ กากงาตลอดจนกากปาล์มก็มีรายงานการประยุกต์ใช้ในอาหารปลา และอาหารกุ้งกุลาดำ (Bautista-Teruela et al., 2003) รวมทั้งใบพืชตระกูลถั่วอื่นๆ หลายชนิด เช่นใบกระถินป่น และใบมะรุม ก็พบว่ามีโปรตีนสูงและสามารถนำมาใช้ทดแทนปลาป่นบางส่วนในอาหารปลาได้อย่างเหมาะสม ทั้งนี้ต้องระมัดระวังสารยับยั้งการใช้อาหาร (anti nutrient) บางอย่างเช่น gossypol ซึ่งเป็นพวกสารประกอบ phenolic antinutrient และ cyclopropionic acid ที่มักพบในเมล็ดนุ่น หรือ glucosinate ใน rapeseed รวมทั้งสารในกลุ่ม alkaloid ที่มักพบในเมล็ดพืชต่างๆ (El-Sayed, 1999) สารเหล่านี้จะปนเปื้อนในอาหารและส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตลดลงได้ ดังนั้นการประยุกต์ใช้วัสดุจากพืชโปรตีนสูงต่างๆ จึงอาจใช้เพื่อทดแทนปลาป่นได้บางส่วน อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงวิธีการที่เหมาะสมที่จะใช้ทำลายสารสารยับยั้งการใช้อาหารที่มีในพืชดังกล่าว รวมทั้งการเลือกวัสดุโปรตีนทดแทนอื่นๆ ผสมในอาหารเพื่อให้มีสมดุลของกรดอะมิโนจำเป็นเหมาะสม ซึ่งจะช่วยให้สามารถใช้วัสดุพืชโปรตีนสูงทดแทนปลาป่นในอาหารปลาได้มากขึ้น ในกุ้งขาว Sudaryono และคณะ (1999) ได้รายงานการใช้เมล็ดนุ่นเป็นแหล่งโปรตีนเสริม ซึ่งพบว่าสามารถใช้ทดแทนโปรตีนในอาหารกุ้งได้เพียงบางส่วนเนื่องจากปัญหาด้านประสิทธิภาพการย่อยและองค์ประกอบกรดอะมิโนไม่สมดุลย์

นอกจากพืชบกแล้วพืชน้ำหลายชนิดก็มีปริมาณโปรตีนรวมสูงเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารปลา Naegel (1997) พบว่าสามารถใช้แหนแดง (*Azolla pinata*) ผสมในอาหารปลานิลเพื่อทดแทนปลาป่นได้ถึง 30% โดยไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของปลาที่เลี้ยง รายงานการศึกษาในบ่อดินพบว่าสามารถใช้แหนเป็ด (*Lemna* sp. และ *Wolffia* sp.) ซึ่งเป็นพืชน้ำที่มีปริมาณโปรตีนรวมสูงถึง 35-45 % เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นทั้งหมดในอาหารปลานิลได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาแต่อย่างใด (Skillicorn *et al.*, 1993) ส่วนสาหร่ายทั้งน้ำจืด และสาหร่ายทะเลจำนวนมากพบว่ามีปริมาณโปรตีนรวมสูง เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารได้ดี แต่ส่วนใหญ่มีราคาแพงเกินกว่าที่จะเหมาะกับการนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีน ส่วนใหญ่จึงประยุกต์ใช้สาหร่ายหรือสารสกัดจากสาหร่ายในอาหารสัตว์น้ำเพื่อเป็นแหล่งของรงควัตถุบางชนิด เช่น เบต้า แคโรทีน เป็นต้น

Kim and Lee (2005) ได้ทดลองศึกษาผลของระดับโปรตีนและไขมันต่างกันต่อการเจริญเติบโตของปลากด Bagrid (*Pseudobagrus fulvidraco*) (น้ำหนักเริ่มต้น0.92±0.01 g) โดยมีอาหารทดลอง 4 สูตร ประกอบด้วยโปรตีน 4 ระดับ คือ 22, 32, 42 และ 52 เปอร์เซ็นต์ แต่ละระดับโปรตีนมีไขมันรวม 2 ระดับ คือ 10และ19 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดลองเป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าระดับของโปรตีนและระดับของไขมันมีผลต่อการเจริญเติบโตของของปลา โดยอาหารทดลองที่มีระดับโปรตีน 42 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพของอาหาร การเพิ่มระดับไขมันในอาหารทดลองจาก 10 เปอร์เซ็นต์ เป็น 19 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปลา Bagrid มีการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพอาหารสูงกว่า ดังนั้น อาหารที่มีระดับโปรตีน 42 เปอร์เซ็นต์และระดับไขมันรวม 19 เปอร์เซ็นต์ เป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับปลากด Bagrid

Serrano *et al.* (1992) ทำการศึกษาปลา Red drum (*Sciaenops ocellatus*) ได้ทดลองใช้อาหารชนิดกึ่งบริสุทธิ์ (semipurified) รวมทั้งหมด 6 สูตร ในแต่ละสูตรได้ควบคุมให้มีอัตราส่วนของค่าพลังงานต่อโปรตีน(E/P ratio) เท่ากัน โดยอาหารทดลองมีโปรตีน 3 ระดับ คือ 35, 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ มีไขมัน 2 ระดับ คือ ไขมัน 10 และ 3 เปอร์เซ็นต์ และได้เติม dextrin เสริม เพื่อควบคุมให้อาหารมีพลังงานเท่ากันทุกสูตร ผลการทดลองพบว่าอาหารที่มีระดับโปรตีน 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ที่มีระดับไขมัน 10 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปลา Red drum มีการเจริญเติบโตมากที่สุด และพบว่าการเพิ่มระดับไขมันในอาหารสำหรับปลา Red drum จะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและเพิ่มค่าประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลา โดยวัดจากปริมาณไขมันที่ตับและช่องท้องของปลาที่เพิ่มมากขึ้น ผู้วิจัยจึงสรุปว่าปลา Red drum ต้องการอาหารที่มีโปรตีนประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ และปลาชนิดนี้สามารถใช้ประโยชน์จากไขมันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าจากคาร์โบไฮเดรต

Serrano (1996) ได้ศึกษาระดับโปรตีนและพลังงานที่เหมาะสมสำหรับปลาเก๋า *Epinephelus coioides* โดยใช้อาหารที่มีระดับโปรตีน 3 ระดับ คือ 30, 44 และ 55 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับพลังงาน 2 ระดับ (3,276 และ 4,217 kcl ME/kg) พบว่าอาหารที่มีระดับโปรตีน 44 เปอร์เซ็นต์ และพลังงาน 4,217 kcl ME/kg ทำให้ปลาทดลองมีน้ำหนักเพิ่มมากที่สุด และมีค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและค่าโปรตีนที่เพิ่มดีที่สุด แม้จะพบว่าอาหารที่มีระดับโปรตีน 55 เปอร์เซ็นต์ ที่มีพลังงาน 3,276 kcl ME/kg จะให้ค่าการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกับอาหารที่มีโปรตีน 44 เปอร์เซ็นต์ อาหารที่มีระดับโปรตีน 44 เปอร์เซ็นต์ และพลังงาน 4,217 kcl ME/kg เป็นอาหารที่มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากทำให้ปลาทดลองมีน้ำหนักเพิ่มมากที่สุดมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจสูงสุด

ส่วนผลของโปรตีนในอาหารต่อคุณภาพเนื้อปลานั้น พบว่าระดับโปรตีนที่เหมาะสมจะทำให้มีปริมาณโปรตีนในเนื้อปลาสูงสุดได้ โดย Catacutan and Coloso (1995) ได้ศึกษาถึงผลของอัตราส่วนระหว่างระดับโปรตีนและพลังงานต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และองค์ประกอบของร่างกาย

ของปลากะพงขาวระยะ juvenile โดยใช้อาหารที่มีระดับโปรตีน 3 ระดับ คือ 35, 42.5 และ 50 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 3 ระดับ คือ 5, 10 และ15 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 42.5 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับไขมัน 10 มีค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและค่าโปรตีนที่เพิ่มในตัวปลาสูงกว่าอาหารสูตรอื่นๆ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะเดียวกันอาหารที่มีระดับโปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด ดังนั้นอาหารที่มีระดับโปรตีน 42.5 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับไขมัน 10 เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นอาหารที่เหมาะสมกับปลากะพงขาวระยะ juvenile มากที่สุด โดยจะมีผลให้ปริมาณโปรตีนในเนื้อปลาและการเจริญเติบโตของปลาสูงที่สุด

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การทดลองที่ 1 : ผลของระดับโปรตีน และไขมันในอาหารต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของปลาดุกลูกผสม

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 3x3 factorial in CRD ประกอบด้วยการศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยด้านปริมาณโปรตีน 3 ระดับ (30-38 % โปรตีน) และในแต่ละปัจจัยทดสอบปริมาณไขมันในอาหาร 3 ระดับ (8-16 % ไขมัน) รวมทั้งสิ้น 9 หน่วยทดลอง ดำเนินการทดลองหน่วยทดลองละ 3 ซ้ำ

การเตรียมปลาทดลอง

นำปลาดุกลูกผสมขนาด 2 เซนติเมตร จำนวน 600 ตัว จากฟาร์มปลาน้ำจืดเอกชนในจังหวัดพัทลุง มาเลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาสกลมขนาดความจุ 1000 ลิตร เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ก่อนการทดลองเพื่อปรับสภาพปลาให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม และทำการสุ่มปลาที่มีขนาดใกล้เคียงกันจำนวน 15 ตัวลงเลี้ยงในถังพลาสติกขนาด 110×60×45 เซนติเมตร จำนวน 18 ถัง ติดตั้งระบบให้อากาศ และระบบเปลี่ยนถ่ายน้ำในอัตราการถ่ายน้ำ 50% ต่อวัน

การเตรียมอาหารทดลอง

เตรียมอาหารทดลองแต่ละสูตรสำหรับแต่ละชุดการทดลอง (ตารางที่ 1) โดยใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ระดับโปรตีนในอาหาร 30 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 8 %
ชุดการทดลองที่ 2 ระดับโปรตีนในอาหาร 30 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 12 %
ชุดการทดลองที่ 3 ระดับโปรตีนในอาหาร 30 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 16 %
ชุดการทดลองที่ 4 ระดับโปรตีนในอาหาร 34 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 8 %
ชุดการทดลองที่ 5 ระดับโปรตีนในอาหาร 34 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 12 %
ชุดการทดลองที่ 6 ระดับโปรตีนในอาหาร 34 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 16 %

ชุดการทดลองที่ 7 ระดับโปรตีนในอาหาร 38 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 8 %
ชุดการทดลองที่ 8 ระดับโปรตีนในอาหาร 38 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 12 %
ชุดการทดลองที่ 9 ระดับโปรตีนในอาหาร 38 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 16 %

เลี้ยงปลาด้วยอาหารในแต่ละชุดการทดลอง โดยให้อาหารวันละ 2 เวลา คือ 08.00-9.00 น. และ 16.00-17.00 น. โดยให้อาหารในปริมาณ 3-5% ของน้ำหนักตัวต่อวัน เป็นระยะเวลาการทดลอง 6 สัปดาห์

ตารางที่ 1 สูตรอาหารที่มีโปรตีน และไขมันระดับต่างๆ สำหรับเลี้ยงปลาดุกลูกผสม (%)
(การทดลองที่ 1)

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
ปลาป่น	37.37	37.37	37.37	42.56	42.56	42.56	47.75	47.75	47.75
กากถั่วเหลืองไขมันเต็ม	16.00	16.00	16.00	18.22	18.22	18.22	20.44	20.44	20.44
แป้งข้าวเจ้า	28.67	24.67	20.67	21.82	17.82	13.82	14.97	10.97	6.97
แป้งมันสำปะหลัง	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
วิตามินรวม	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
แร่ธาตุรวม	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Dicalcium phosphate	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
น้ำมันถั่วเหลือง	3.96	7.96	11.96	3.40	7.40	11.40	2.84	6.84	10.84
กลูเทน	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมี (%) ของอาหารทดลองแต่ละสูตรก่อนนำมาใช้ในการทดลองที่ 1*

	Protein	Lipid	Ash	Moisture	NFE
T1 30% prot 8 % lipid	31.35	8.49	10.26	5.45	44.45
T2 30% prot 12 % lipid	30.65	11.13	10.72	5.32	42.18
T3 30% prot 16 % lipid	30.81	14.26	10.66	5.65	38.62
T4 34% prot 8 % lipid	34.37	8.82	11.46	5.15	40.2
T5 34% prot 12 % lipid	34.40	10.89	11.86	5.23	37.62
T6 34% prot 16 % lipid	33.98	13.72	12.03	5.41	34.86
T7 38% prot 8 % lipid	37.55	8.75	12.69	5.26	36.75
T8 38% prot 12 % lipid	38.88	10.68	13.28	5.37	32.79
T9 38% prot 16 % lipid	37.41	13.84	13.67	5.25	29.83

*ตามวิธีการของ AOAC (1990)

การเก็บข้อมูล

การตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา

ชั่งน้ำหนักปลาทั้งหมดในแต่ละถังตั้งแต่เริ่มทดลอง และทุกระยะ 2 สัปดาห์ของการทดลอง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ นับจำนวนปลาทุกครั้งที่มีการชั่งน้ำหนัก แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ข้อมูลด้านการเจริญเติบโต การรอดตาย และการแลกเนื้อ ตามสมการดังต่อไปนี้

1. **น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain ,WG; เปอร์เซ็นต์)**

$$= \frac{\text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่ม}} \times 100$$

2. **อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate; เท่าต่อวัน)**

$$= \frac{(\ln\text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย} - \ln\text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น})}{\text{เวลาในการทดลอง}}$$

3. อัตราการรอดตาย (Survival rate;เปอร์เซ็นต์)

= จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง x 100

จำนวนปลาเริ่มต้น

4. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio, FCR ;กรัม)

= น้ำหนักรวมของอาหารทั้งหมดที่ปลากินในแต่ละหน่วยการทดลอง (กรัม)

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาทดลองในแต่ละหน่วยการทดลอง (กรัม)

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี

เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำปลาจากแต่ละชุดการทดลองจำนวน 10 ตัว มาใช้ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัว และเนื้อปลา โดยแล่เนื้อด้านข้างตัวปลาเพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ปริมาณโปรตีน ความชื้น ไขมัน และปริมาณเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (1990)

การตรวจสอบ hepatosomatic index, condition factor ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และค่าการสะสมโปรตีน (protein retention)

เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มปลาในแต่ละชุดการทดลองจำนวน 12 ตัว ชั่งน้ำหนัก วัดความยาวเหยียด (total length, TL) ผ่าตัดเปิดช่องท้องเพื่อชั่งน้ำหนักตับทั้งหมด นำข้อมูลที่ได้มาตรวจสอบค่า hepatosomatic index (Anwar and Jafri, 1995) และ condition factor (Toko *et al.*, 2007) และนำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา เพื่อคำนวณค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และค่าการสะสมโปรตีน (protein retention) ตามวิธีการของ Halver and Hardy (2002)

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER)} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (g)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (g)}}$$

$$\text{ค่าการสะสมโปรตีน (protein retention)} = \frac{\text{น้ำหนักโปรตีนในตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (g)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (g)}} \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยแบบ Two way analysis of variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Ducan Multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูป SPSS version 17 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การทดลองที่ 2 : ผลของโปรตีนจากแหล่งต่างๆ ต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของปลาดุกลูกผสม

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 2x3 factorial in CRD ประกอบด้วยการศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยด้านแหล่งโปรตีน 2 ปัจจัย (กากถั่วเหลือง และเศษไก่ป่น) และในแต่ละปัจจัยทดสอบระดับโปรตีนทดแทนในอาหาร 3 ระดับ (ทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในระดับ 25-75 %) รวมทั้งสิ้น 6 หน่วยทดลอง ดำเนินการทดลองหน่วยทดลองละ 3 ซ้ำ

การเตรียมปลาทดลอง

นำปลาดุกลูกผสมขนาด 2 เซนติเมตร จำนวน 600 ตัว จากฟาร์มปลาน้ำจืดเอกชนในจังหวัดพัทลุง มาเลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาสกลมขนาดความจุ 1000 ลิตร เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ก่อนการทดลองเพื่อปรับสภาพปลาให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม และทำการสุ่มปลาที่มีขนาดใกล้เคียงกันจำนวน 15 ตัวลงเลี้ยงในตู้กระจกขนาด 110×60×45 เซนติเมตร จำนวน 18 ถัง ติดตั้งระบบให้อากาศ และระบบเปลี่ยนถ่ายน้ำในอัตราการถ่ายน้ำ 50% ต่อวัน

การเตรียมอาหารทดลอง

เตรียมอาหารทดลองแต่ละสูตรสำหรับแต่ละชุดการทดลอง (ตารางที่ 3) ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 เสริมกากถั่วเหลือง ทดแทนโปรตีนจากปลาป่น 25 %
ชุดการทดลองที่ 2 เสริมกากถั่วเหลือง ทดแทนโปรตีนจากปลาป่น 50 %
ชุดการทดลองที่ 3 เสริมกากถั่วเหลือง ทดแทนโปรตีนจากปลาป่น 75 %
ชุดการทดลองที่ 4 เสริมเศษไก่ป่น ทดแทนโปรตีนจากปลาป่น 25 %
ชุดการทดลองที่ 5 เสริมเศษไก่ป่น ทดแทนโปรตีนจากปลาป่น 50 %

ชุดการทดลองที่ 6 เสริมเศษไก่ปั่น ทดแทนโปรตีนจากปลาป่น 75 %

เลี้ยงปลาด้วยอาหารในแต่ละชุดการทดลอง โดยให้อาหารวันละ 2 เวลา คือ 08.00-9.00 น. และ 16.00-17.00 น. โดยให้อาหารในปริมาณ 3-5% ของน้ำหนักตัวต่อวัน เป็นระยะเวลาการทดลอง 6 สัปดาห์

ตารางที่ 3 สูตรอาหารทดลองที่ใช้กากถั่วเหลือง และเศษไก่ปั่นทดแทนปลาป่นในระดับต่างๆ (การทดลองที่ 2)

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
ปลาป่น	52.08	34.72	17.36	39.06	26.04	13.02
กากถั่วเหลืองไขมันเต็ม	19.45	38.90	58.35	19.45	19.45	19.45
เศษไก่ป่น	0.00	0.00	0.00	13.50	27.01	40.51
แป้งข้าวเจ้า	11.57	7.62	3.68	11.54	11.51	11.47
แป้งมันสำปะหลัง	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
วิตามินรวม	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
แร่ธาตุรวม	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Dicalcium phosphate	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
น้ำมันถั่วเหลือง	2.90	4.76	6.61	2.45	2.00	1.55
กลูเทน	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมี (%) ของอาหารทดลองแต่ละสูตรก่อนนำมาใช้ในการทดลองที่ 2*

	Protein	Lipid	Ash	Moisture	NFE
T1 SBM 25% replacement	39.50	10.67	13.81	4.48	31.54
T2 SBM 50% replacement	40.97	10.65	11.57	5.52	31.29
T3 SBM 75% replacement	39.29	10.59	9.16	5.10	35.86
T4 PBM 25% replacement	37.93	10.22	14.57	4.97	32.31
T5 PBM 50% replacement	39.47	10.26	14.61	4.54	31.12
T6 PBM 75% replacement	41.10	10.66	14.44	5.00	30.80

*ตามวิธีการของ AOAC (1990)

การเก็บข้อมูล

การตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา

ชั่งน้ำหนักปลาทั้งหมดในแต่ละถังตั้งแต่เริ่มทดลอง และทุกระยะ 2 สัปดาห์ของการทดลอง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ นับจำนวนปลาทุกครั้งที่มีการชั่งน้ำหนัก แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ข้อมูลด้านการเจริญเติบโต การรอดตาย และการแลกเนื้อ ตามสมการดังต่อไปนี้

1. **น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain ,WG; เปอร์เซ็นต์)**

$$= \frac{\text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่ม}} \times 100$$

2. **อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate; เท่าต่อวัน)**

$$= \frac{(\ln\text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย} - \ln\text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น})}{\text{เวลาในการทดลอง}}$$

3. **อัตราการรอดตาย (Survival rate;เปอร์เซ็นต์)**

$$= \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้น}}$$

4. **อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio, FCR ;กรัม)**

$$= \frac{\text{น้ำหนักรวมของอาหารทั้งหมดที่ปลากินในแต่ละหน่วยการทดลอง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาทดลองในแต่ละหน่วยการทดลอง (กรัม)}}$$

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี

เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำปลาจากแต่ละชุดการทดลองจำนวน 10 ตัว มาใช้ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัว และเนื้อปลา โดยแล่เนื้อด้านข้างตัวปลาเพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ปริมาณโปรตีน ความชื้น ไขมัน และปริมาณเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (1990)

การตรวจสอบ hepatosomatic index, condition factor ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และค่าการสะสมโปรตีน (protein retention)

เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มปลาในแต่ละชุดการทดลองจำนวน 12 ตัว ชั่งน้ำหนัก วัดความยาวเหยียด (total length, TL) ผ่าตัดเปิดช่องท้องเพื่อชั่งน้ำหนักตับทั้งหมด นำข้อมูลที่ได้มาตรวจสอบค่า hepatosomatic index (Anwar and Jafri, 1995) และ condition factor (Toko *et al.*, 2007) และนำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา เพื่อคำนวณค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และค่าการสะสมโปรตีน (protein retention) ตามวิธีการของ Halver and Hardy (2002)

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER)} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (g)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (g)}}$$

$$\text{ค่าการสะสมโปรตีน (protein retention)} = \frac{\text{น้ำหนักโปรตีนในตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (g)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (g)}} \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยแบบ Two way analysis of variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Ducan Multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูป SPSS version 17 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การทดลองที่ 3 : ผลของคาร์โบไฮเดรตจากแหล่งต่างๆ ต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของปลาดุกลูกผสม

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (complete randomized design, CRD) ประกอบด้วยการศึกษาผลของอาหารทดลองที่มีคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆ ได้แก่ รำละเอียด ข้าวโพดป่น กากปาล์ม และมันสำปะหลังบด ในระดับที่มีโปรตีน และไขมันในอาหารเท่ากันทุกสูตร รวมทั้งสิ้น 4 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ

การเตรียมปลาทดลอง

นำปลาดุกลูกผสมขนาด 2 เซนติเมตร จำนวน 600 ตัว จากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดจังหวัดพัทลุง มาเลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาสกลมขนาดความจุ 1000 ลิตร เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ก่อนการทดลอง เพื่อปรับสภาพปลาให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม และทำการสุ่มปลาที่มีขนาดใกล้เคียงกันจำนวน 15 ตัวลงเลี้ยงในถังพลาสติกขนาด 110×60×45 เซนติเมตร จำนวน 18 ถัง ติดตั้งระบบให้อากาศ และระบบเปลี่ยนถ่ายน้ำในอัตราการถ่ายน้ำ 50% ต่อวัน

การเตรียมอาหารทดลอง

เตรียมอาหารทดลองโดยใช้สูตรอาหารพื้นฐานที่ให้ผลการทดลองดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 โดยแต่ละสูตรมีการใช้คาร์โบไฮเดรตจากแต่ละแหล่งในปริมาณที่ให้พลังงานรวมเท่ากัน (ตารางที่ 5) ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 เสริมรำละเอียดเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต
ชุดการทดลองที่ 2 เสริมข้าวโพดป่นเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต
ชุดการทดลองที่ 3 เสริมมันสำปะหลังเส้นเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต
ชุดการทดลองที่ 4 เสริมกากปาล์มเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต

เลี้ยงปลาด้วยอาหารในแต่ละชุดการทดลอง โดยให้อาหารวันละ 2 เวลา คือ 08.00-9.00 น. และ 16.00-17.00 น. โดยให้อาหารในปริมาณ 3-5% ของน้ำหนักตัวต่อวัน เป็นเวลาการทดลอง 6 สัปดาห์

ตารางที่ 5 สูตรอาหารทดลองที่ใช้คาร์โบไฮเดรตจากแหล่งต่างๆ สำหรับปลาดุกลูกผสม (การทดลองที่ 3)

	T1	T2	T3	T4
ปลาป่น	49.50	49.40	48.50	50.60
กากถั่วเหลืองไขมันเต็ม	20.50	20.40	19.70	20.80
แป้งข้าวเจ้า	10.00	10.00	10.00	10.00
รำละเอียด	16.40	-	-	-
ข้าวโพดป่น	-	16.14	-	-
กากปาล์ม	-	-	17.10	-
มันสำปะหลังบด	-	-	-	14.22
วิตามินรวม[1]	0.50	0.50	0.50	0.50
แร่ธาตุรวม[2]	0.50	0.50	0.50	0.50
DCP	1.50	1.50	1.50	1.50
น้ำมันถั่วเหลือง	1.10	1.56	2.20	1.88
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00

[1] Vitamin mixture (mg/ kg diet): thiamine hydrochloride 15; riboflavin 30; nicotinic acid 80; calcium pantothenate 75; pyridoxine hydrochloride 15; vitamin B_{12} 0.005; inositol 25; biotin 2; folic acid 2; choline chloride 500; ascorbic acid 250; vitamin E 125; vitamin K_3 15; vitamin A 12,000 IU; vitamin D_3 1200 IU.

[2] Mineral mixture (mg/kg diet) $CoCl_2.6H_2O$ 0.5; $CuSO_4.5H_2O$ 10; $FeSO_4.H_2O$ 50; KCl 2; KI 1.6; $MgSO_4.7H_2O$ 1,200; $ZnSO_4$ 100; $MnSO_4.H_2O$ 60; NaCl 1,000.

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมี (%) ของอาหารทดลองแต่ละสูตรก่อนนำมาใช้ในการทดลองที่ 3*

	Protein	Lipid	Ash	Moisture	NFE	Fiber
T1 Rice bran	38.67	11.49	14.57	1.60	33.67	3.68
T2 Corn meal	37.26	9.77	13.50	1.37	38.1	3.42
T3 Palm meal	37.87	11.31	13.98	1.39	35.45	5.18
T4 Cassava	37.76	9.62	14.51	1.12	36.99	2.92

*ตามวิธีการของ AOAC (1990)

การเก็บข้อมูล

การตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา

ชั่งน้ำหนักปลาทั้งหมดในแต่ละถังตั้งแต่เริ่มทดลอง และทุกระยะ 2 สัปดาห์ของการทดลอง เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ นับจำนวนปลาทุกครั้งที่มีการชั่งน้ำหนัก แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ข้อมูลด้านการเจริญเติบโต การรอดตาย และการแลกเนื้อ ตามสมการดังต่อไปนี้

1. **น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain ,WG; เปอร์เซ็นต์)**

$$= \frac{\text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่ม}} \times 100$$

2. **อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate; เท่าต่อวัน)**

$$= \frac{(\ln\text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย} - \ln\text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น})}{\text{เวลาในการทดลอง}}$$

3. **อัตราการรอดตาย (Survival rate;เปอร์เซ็นต์)**

$$= \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้น}}$$

4. **อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio, FCR ;กรัม)**

$$= \frac{\text{น้ำหนักรวมของอาหารทั้งหมดที่ปลากินในแต่ละหน่วยการทดลอง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาทดลองในแต่ละหน่วยการทดลอง (กรัม)}}$$

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี

เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำปลาจากแต่ละชุดการทดลองจำนวน 10 ตัว มาใช้ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อและหนังปลา โดยลอกหนังและเนื้อออกเพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ปริมาณโปรตีน ความชื้น ไขมัน และปริมาณเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (1990)

การตรวจสอบ hepatosomatic index, condition factor ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และค่าการสะสมโปรตีน (protein retention)

เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มปลาในแต่ละชุดการทดลองจำนวน 12 ตัว ชั่งน้ำหนัก วัดความยาวเหยียด (total length, TL) ผ่าตัดเปิดช่องท้องเพื่อชั่งน้ำหนักตับทั้งหมด นำข้อมูลที่ได้มาตรวจสอบค่า

hepatosomatic index (Anwar and Jafri, 1995) และ condition factor (Toko *et al.*, 2007) และนำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา เพื่อคำนวณค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และค่าการสะสมโปรตีน (protein retention) ตามวิธีการของ Halver and Hardy (2002)

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER)} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (g)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (g)}}$$

$$\text{ค่าการสะสมโปรตีน (protein retention)} = \frac{\text{น้ำหนักโปรตีนในตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (g)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (g)}} \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยแบบ (One way analysis of variance ;ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย (Ducan Multiple range test ;DMRT) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูป SPSS version 17 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ว. 136720
636.0852
ว 622
2556 ฉ.1

การทดลองที่ 4 : ผลของสูตรอาหารต่อปริมาณผลผลิต และประสิทธิภาพการผลิตปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในกระชังในบ่อดิน

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (complete randomized design, CRD) ประกอบด้วยการศึกษาผลของอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า และอาหารทดลองสูตรที่มีผลให้โปรตีนในเนื้อสูง และไขมันในเนื้อต่ำที่สุด (อาหารทดลองสูตรสำหรับเลี้ยงปลาดุกร้า) รวมทั้งสิ้น 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ

การเตรียมปลาทดลอง

นำปลาดุกลูกผสมขนาด 2 เซนติเมตร จำนวน 2000 ตัว จากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดจังหวัดพัทลุง มาเลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาสกลมขนาดความจุ 3000 ลิตร เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ก่อนการทดลอง เพื่อปรับสภาพปลาให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม และทำการสุ่มปลาที่มีขนาดใกล้เคียงกันจำนวน 100 ตัวลงเลี้ยงในกระชังแต่ละใบที่มีขนาด 2x3 เมตร จำนวน 6 กระชังที่ติดตั้งไว้ในบ่อดินขนาด 15×8 เมตร ความลึก 0.8 เมตร โดยแบ่งเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงปลาด้วยอาหารสูตรที่ให้ผลดีที่สุดจากการทดลองที่ 1-3
ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงปลาด้วยอาหารสำเร็จรูปทางการค้า

เลี้ยงปลาด้วยอาหารในแต่ละชุดการทดลอง โดยให้อาหารวันละ 2 เวลา คือ 08.00-9.00 น. และ 16.00-17.00 น. โดยให้อาหารในปริมาณ 3-5% ของน้ำหนักตัวต่อวัน เป็นระยะเวลาการทดลอง 6 สัปดาห์

การเก็บข้อมูล

การตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา

ชั่งน้ำหนักปลาทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 6 สัปดาห์ นับจำนวนปลาเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลด้านการเจริญเติบโต การรอดตาย และการแลกเนื้อ ตามสมการดังต่อไปนี้

1. **น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain ,WG; เปอร์เซ็นต์)**

$$= \frac{\text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น}} \times 100$$

2. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate; เท่าต่อวัน)

= (lnน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย – lnน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น)

เวลาในการทดลอง

3. อัตราการรอดตาย (Survival rate;เปอร์เซ็นต์)

= จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง x 100

จำนวนปลาเริ่มต้น

4. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio, FCR ;กรัม)

= น้ำหนักรวมของอาหารทั้งหมดที่ปลากินในแต่ละหน่วยการทดลอง (กรัม)

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาทดลองในแต่ละหน่วยการทดลอง (กรัม)

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของสูตรอาหารทดลอง

ตรวจสอบปริมาณผลผลิต และต้นทุนการผลิตโดยคำนวณต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตระหว่างสูตรอาหารจากการทดลองเทียบกับสูตรอาหารสำเร็จรูปทางการค้า ตามสมการ

ต้นทุนต่อปริมาณผลผลิต = FCR x ราคาอาหารต่อกิโลกรัม

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี

เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำปลาจากแต่ละชุดการทดลองจำนวน 10 ตัว มาใช้ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อและหนังปลา โดยลอกหนังและเนื้อออกเพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ปริมาณโปรตีน ความชื้น ไขมัน และปริมาณเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (1990)

การตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และค่าการสะสมโปรตีน (protein retention)

นำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา เพื่อคำนวณค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และค่าการสะสมโปรตีน (protein retention) ตามวิธีการของ Halver and Hardy (2002)

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER)} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (g)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (g)}}$$

$$\text{ค่าการสะสมโปรตีน (protein retention)} = \frac{\text{น้ำหนักโปรตีนในตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (g)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (g)}} \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย t-test โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูป SPSS version 17 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ 1 : ผลของระดับโปรตีน และไขมันในอาหารต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของปลาดุกลูกผสม

ผลจากการทดลองที่ 1 ในการศึกษาระดับโปรตีน และไขมันในอาหารต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหารของปลาดุกลูกผสม พบว่า อาหารทดลองที่ผลิตขึ้นใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 30.65-31.35%, 33.98-34.40% และ 37.41-38.88% ส่วนปริมาณไขมันมีค่า 8.49-8.82%, 10.68-11.13% และ 13.72-14.26%

การเจริญเติบโตของปลา

เมื่อนำอาหารทดลองดังกล่าวเลี้ยงปลาดุกลูกผสมเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรมีการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยน้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีโปรตีน 38% มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ ทั้งนี้ปลาที่ได้รับอาหารทดลองโปรตีน 38% ที่มีระดับไขมัน 11-14% มีน้ำหนักเฉลี่ยไม่แตกต่างกันเช่นเดียวกันกับค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาที่ได้รับอาหารทดลองโปรตีน 38% ในระดับไขมัน 11-14% มีค่าสูง และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับปลาในชุดการทดลองอื่นๆ (ตารางที่ 7-8) นอกจากนี้ยังพบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณโปรตีน 34-38% มีค่าอัตราแลกเนื้อไม่แตกต่างกัน แต่มีค่าต่ำกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีโปรตีน 30% (ตารางที่ 8)

ดัชนีมวลตัว (condition factor) และดัชนีตับต่อตัว (hepatosomatic index) ของปลาที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรแสดงในตารางที่ 9 พบว่าค่าดัชนีมวลตัว (condition factor) ของปลาดุกลูกผสมมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณโปรตีน 38% มีค่าดัชนีมวลตัวสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองโปรตีน 30% นอกจากนี้ระดับไขมันในอาหารก็มีผลต่อดัชนีมวลตัวกล่าวคืออาหารที่มีไขมัน 14% มีผลทำให้ค่าดัชนีมวลตัวของปลาสูงกว่าอาหารที่มีไขมัน 8-11% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดัชนีตับต่อตัว (hepatosomatic index) ของปลาที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรมีความสัมพันธ์กับปริมาณไขมัน และปริมาณโปรตีนในอาหาร ปลาที่ได้รับอาหารโปรตีน 38% ใน

ทุกระดับไขมันมีค่าดัชนีตับต่อตัวต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำ แต่ระดับไขมันมีปฏิสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนในอาหาร โดยปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีโปรตีนต่ำ แต่ไขมันสูง (โปรตีน 30% ไขมัน 14% และโปรตีน 34% ไขมัน 14%) พบว่ามีค่าดัชนีตับต่อตัวไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 38% ที่มีไขมันทุกระดับ

ค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการนำโปรตีนสะสมในร่างกายของปลาแสดงในตารางที่ 10 โดยปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรมีค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการนำโปรตีนสะสมในร่างกายของปลาไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัว พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรมีปริมาณโปรตีน และไขมันในตัวปลาไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) แต่เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตร พบว่าปริมาณโปรตีนในอาหารไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในเนื้อปลา แต่ระดับไขมันในอาหารมีผลต่อปริมาณไขมันในเนื้อปลา กล่าวคือ ปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีไขมัน 11% มีไขมันในเนื้อน้อยและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) เมื่อเทียบกับปริมาณไขมันในเนื้อของปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีไขมัน 14% แต่ปริมาณไขมันในเนื้อปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีระดับไขมัน 11% มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับไขมันในเนื้อของปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีระดับไขมัน 8 และ 14% (P>0.05) (ตารางที่ 11-12)

ตารางที่ 7 น้ำหนักเฉลี่ย (g/fish) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 1)

Variables		**0 wk**	**2 wk**	**4 wk**	**6 wk**
Individual treatment means					
Protein level (%)	*Lipid level (%)*				
30%	8	5.83	17.19	37.18	66.80
30%	11	5.83	18.09	40.92	70.70
30%	14	5.84	18.53	42.12	79.70
34%	8	5.83	17.72	38.01	71.28
34%	11	5.83	18.82	40.87	79.62
34%	14	5.84	19.39	45.07	83.75
38%	8	5.85	18.88	41.89	81.85
38%	11	5.83	19.33	45.88	87.76
38%	14	5.84	19.65	45.71	92.07
Pooled SEM		0.007	0.195	0.678	1.548
Means of main effects					
30% protein		5.83	17.94^{p}	40.08^{p}	72.40^{p}
34% protein		5.83	18.65^{pq}	41.32^{pq}	78.22^{p}
38% protein		5.84	19.29^{q}	44.50^{q}	87.22^{q}
	8% lipid	5.83	17.93^{x}	39.03^{x}	73.31^{x}
	11% lipid	5.84	18.75^{xy}	42.56^{y}	79.36^{xy}
	14% lipid	5.84	19.19^{y}	44.30^{y}	85.17^{y}
ANOVA : P value					
Protein		0.833	0.036	0.043	0.004
Lipid		0.785	0.047	0.016	0.020
Protein X Lipid		0.989	0.954	0.857	0.976

[1] Treatments means represent the average values of three aquaria per treatment. Duncan multiple range test was conducted for individual means only if there was a significant interaction (ANOVA: $P<0.05$).

[2] Means followed by the same letter are not significantly different.

[3] Main effect means followed by the same letter are not significantly different at $P<0.05$ by Duncan multiple range test; p, q and r for protein level and x, y and z for lipid.

ตารางที่ 8 อัตราการเจริญเติบโต (%), อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/day), FCR และการรอดตาย (%) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 1)

Variables		**Weight gain (%)**	**SGR (%/day)**	**FCR**	**Survival (%)**
Individual treatment means					
Protein level (%)	*Lipid level (%)*				
30%	8	1046.15	5.79	1.25	100.00
30%	11	1112.71	5.93	1.56	86.67
30%	14	1265.39	6.22	1.11	100.00
34%	8	1121.88	5.95	1.19	97.78
34%	11	1266.43	6.22	1.04	100.00
34%	14	1331.61	6.30	1.12	95.56
38%	8	1298.54	6.28	1.08	95.56
38%	11	1404.61	6.45	0.98	100.00
38%	14	1476.87	6.56	0.95	100.00
Pooled SEM		26.316	0.048	0.038	1.210
Means of main effects					
30% protein		1141.4^{p}	5.98^{p}	1.31^{p}	95.56
34% protein		1240.0^{p}	6.16^{p}	1.12^{pq}	97.78
38% protein		1393.3^{q}	6.43^{q}	1.01^{q}	98.52
	8% lipid	1155.5^{x}	6.01^{x}	1.06	95.56
	11% lipid	1261.3^{xy}	6.20^{xy}	1.18	97.78
	14% lipid	1358.0^{y}	6.36^{y}	1.20	98.52
ANOVA : P value					
Protein		0.004	0.005	0.016	0.591
Lipid		0.020	0.025	0.341	0.591
Protein X Lipid		0.975	0.942	0.177	0.086

[1] Treatments means represent the average values of three aquaria per treatment. Duncan multiple range test was conducted for individual means only if there was a significant interaction (ANOVA: $P<0.05$).

[2] Means followed by the same letter are not significantly different.

[3] Main effect means followed by the same letter are not significantly different at $P<0.05$ by Duncan multiple range test; p, q and r for protein level and x, y and z for lipid.

ตารางที่ 9 Condition factor และ hepatosomatic index ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 1)

Variables		**Condition factor**	**HSI (%)**
Individual treatment means			
Protein level (%)	*Lipid level (%)*		
30%	8	0.86	1.61^{bcd}
30%	11	0.89	1.62^{bcd}
30%	14	0.90	1.55^{abc}
34%	8	0.84	1.78^{d}
34%	11	0.84	1.68^{cd}
34%	14	0.90	1.33^{a}
38%	8	0.89	1.50^{abc}
38%	11	0.89	1.43^{ab}
38%	14	0.94	1.46^{ab}
Pooled SEM		0.006	0.023
Means of main effects			
30% protein		0.88^{p}	1.59^{p}
34% protein		0.86^{pq}	1.46^{q}
38% protein		0.91^{q}	1.60^{p}
	8% lipid	0.86^{x}	1.63^{x}
	11% lipid	0.87^{x}	1.58^{x}
	14% lipid	0.91^{y}	1.45^{y}
ANOVA : P value			
Protein		0.031	0.037
Lipid		0.009	0.012
Protein X Lipid		0.855	0.029

[1] Treatments means represent the average values of three aquaria per treatment. Duncan multiple range test was conducted for individual means only if there was a significant interaction (ANOVA: $P<0.05$).

[2] Means followed by the same letter are not significantly different.

[3] Main effect means followed by the same letter are not significantly different at $P<0.05$ by Duncan multiple range test; p, q and r for protein level and x, y and z for lipid.

ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และการนำโปรตีนสะสมในร่างกาย (protein retention efficiency) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 1)

Variables		**PER**	**Protein retention (%)**
Individual treatment means			
Protein level (%)	*Lipid level (%)*		
30%	8	2.58	39.55
30%	11	2.23	37.73
30%	14	2.92	42.83
34%	8	2.46	37.88
34%	11	2.80	43.08
34%	14	2.69	42.14
38%	8	2.46	38.79
38%	11	2.63	38.20
38%	14	2.81	44.11
Pooled SEM		0.059	1.341
Means of main effects			
30% protein		2.57	40.04
34% protein		2.65	41.03
38% protein		2.63	40.37
	8% lipid	2.50	38.74
	11% lipid	2.55	39.67
	14% lipid	2.81	43.03
ANOVA : P value			
Protein		0.864	0.953
Lipid		0.105	0.408
Protein X Lipid		0.228	0.874

[1] Treatments means represent the average values of three aquaria per treatment. Duncan multiple range test was conducted for individual means only if there was a significant interaction (ANOVA: $P<0.05$).

[2] Means followed by the same letter are not significantly different.

[3] Main effect means followed by the same letter are not significantly different at $P<0.05$ by Duncan multiple range test; p, q and r for protein level and x, y and z for lipid.

ตารางที่ 11 องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 1)

Variables		**Moisture (%)**	**Protein (%)**	**Lipid (%)**	**Ash (%)**
Individual treatment means					
Protein level (%)	*Lipid level (%)*				
30%	8	71.85	54.16	33.09	12.20
30%	11	70.69	56.39	36.02	13.89
30%	14	70.59	49.37	36.80	11.87
34%	8	71.29	52.92	32.51	10.84
34%	11	70.70	52.13	37.51	11.23
34%	14	68.57	48.83	37.30	11.04
38%	8	70.52	52.70	38.11	10.08
38%	11	70.58	49.33	36.89	9.92
38%	14	69.22	50.50	36.64	13.36
Pooled SEM		0.244	0.783	0.589	0.445
Means of main effects					
30% protein		70.11	50.84	35.30	11.04
34% protein		70.19	51.29	35.78	11.12
38% protein		71.04	53.31	37.21	12.65
	8% lipid	69.46[x]	49.57	34.57	11.04
	11% lipid	70.66[xy]	52.62	36.81	11.68
	14% lipid	71.22[y]	53.26	36.91	12.09
ANOVA : P value					
Protein		0.248	0.411	0.406	0.275
Lipid		0.026	0.150	0.215	0.632
Protein X Lipid		0.627	0.541	0.365	0.360

[1] Treatments means represent the average values of three aquaria per treatment. Duncan multiple range test was conducted for individual means only if there was a significant interaction (ANOVA: $P<0.05$).

[2] Means followed by the same letter are not significantly different.

[3] Main effect means followed by the same letter are not significantly different at $P<0.05$ by Duncan multiple range test; p, q and r for protein level and x, y and z for lipid.

ตารางที่ 12 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 1)

Variables		**Moisture (%)**	**Protein (%)**	**Lipid (%)**	**Ash (%)**
Individual treatment means					
Protein level (%)	*Lipid level (%)*				
30%	8	76.59	74.18	25.32	4.35
30%	11	75.31	72.24	28.75	4.37
30%	14	74.97	70.15	31.79	4.17
34%	8	75.75	73.79	28.34	4.50
34%	11	75.33	71.97	27.94	4.28
34%	14	74.78	69.39	29.47	4.24
38%	8	76.24	74.60	24.19	4.03
38%	11	75.60	72.28	27.62	4.07
38%	14	75.31	73.51	28.36	4.15
Pooled SEM		0.191	0.757	0.614	0.076
Means of main effects					
30% protein		75.29	71.72	26.73	4.09
34% protein		75.62	72.19	28.58	4.30
38% protein		75.72	73.46	28.62	4.32
	8% lipid	75.02^{x}	71.02	25.95	4.19
	11% lipid	75.41^{xy}	72.16	28.10	4.23
	14% lipid	76.19^{y}	74.19	29.87	4.27
ANOVA : P value					
Protein		0.635	0.629	0.375	0.409
Lipid		0.063	0.250	0.055	0.876
Protein X Lipid		0.942	0.907	0.628	0.925

[1] Treatments means represent the average values of three aquaria per treatment. Duncan multiple range test was conducted for individual means only if there was a significant interaction (ANOVA: $P<0.05$).

[2] Means followed by the same letter are not significantly different.

[3] Main effect means followed by the same letter are not significantly different at $P<0.05$ by Duncan multiple range test; p, q and r for protein level and x, y and z for lipid.

ผลการทดลองที่ 2 : ผลของโปรตีนจากแหล่งต่างๆ ต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของปลาดุกลูกผสม

ผลการทดลองที่ 2 ซึ่งศึกษาผลของการใช้กากถั่วเหลือง หรือเศษไก่ป่นเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหาร ในปริมาณที่แตกต่างกันในช่วง 25-75% ของโปรตีนจากปลาป่นต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหารของปลาดุกลูกผสม พบว่าอาหารทดลองที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 37.93-40.97% ส่วนปริมาณไขมันมีค่า 10.22-10.67%

การเจริญเติบโตของปลา

ปลาที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเริ่มมีการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนมีค่าสูงกว่าการใช้เศษไก่ป่นเป็นแหล่งโปรตีนทดแทน ($P<0.05$) ทั้งนี้การใช้แหล่งโปรตีนทดแทนในปริมาณ 25% ของโปรตีนจากปลาป่นมีผลให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาดุกลูกผสมค่าสูงที่สุด (ตารางที่ 13-14) นอกจากนี้ยังพบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทน มีค่าอัตราแลกเนื้อต่ำกว่าการใช้เศษไก่ป่น โดยการใช้แหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในปริมาณ 25% ของโปรตีนจากปลาป่นมีผลให้อัตราแลกเนื้อของปลาดุกลูกผสมในการทดลองนี้มีค่าต่ำที่สุด (ตารางที่ 14) ทั้งนี้ปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรมีการรอดตาย 100% ตลอดการทดลอง

ดัชนีมวลตัว (condition factor) และดัชนีตับต่อตัว (hepatosomatic index) ของปลาที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรแสดงในตารางที่ 15 พบว่าค่าดัชนีมวลตัว (condition factor) ของปลาดุกลูกผสมมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนมีค่าดัชนีมวลตัวสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่ใช้เศษไก่ป่นเป็นแหล่งโปรตีนทดแทน นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้แหล่งโปรตีนทดแทนในปริมาณ 25% ของโปรตีนจากปลาป่นมีผลให้ดัชนีมวลตัวของปลาดุกลูกผสมค่าสูงที่สุด ($P<0.05$) ดัชนีตับต่อตัว (hepatosomatic index) ของปลาที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรมีความแตกต่างทางสถิติเฉพาะในด้านแหล่งของโปรตีนทดแทน กล่าวคือปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนมีค่าดัชนีตับต่อตัวต่ำ และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับเศษไก่ป่นเป็นแหล่งโปรตีนทดแทน ($P<0.05$)

ค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการนำโปรตีนสะสมในร่างกายของปลาแสดงในตารางที่ 16 โดยปลาที่ได้รับอาหารทดลองซึ่งใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนมีค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการนำโปรตีนสะสมในร่างกายสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารซึ่งใช้เศษไก่ปั่นเป็นแหล่งโปรตีนทดแทน ($P<0.05$) ผลการทดลองในด้านระดับของการใช้แหล่งโปรตีนทดแทน แสดงให้เห็นว่าการใช้วัตถุดิบโปรตีนทดแทน ในปริมาณ 25% ของโปรตีนจากปลาป่นมีผลให้ค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและการนำโปรตีนสะสมในร่างกายของปลาดุกลูกผสมค่าสูงที่สุด และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ($P<0.05$)

องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัว พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรมีค่าความชื้น และไขมันในตัวปลาไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ในด้านปริมาณโปรตีนในปลาทั้งตัวพบว่าปริมาณโปรตีนในตัวปลามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างการใช้กากถั่วเหลืองหรือเศษไก่ป่นเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนแต่ระดับของการใช้วัตถุดิบทดแทนโปรตีนมีผลต่อปริมาณโปรตีนในตัวปลา จากการทดลองพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารทดลองซึ่งทดแทนโปรตีนทดแทนในระดับ 75% ของโปรตีนจากปลาป่นมีปริมาณโปรตีนในตัวสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับการใช้วัตถุดิบทดแทนโปรตีน 50% ของโปรตีนจากปลาป่นแต่ปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่ใช้วัตถุดิบทดแทนโปรตีน 25% ของโปรตีนจากปลาป่น มีปริมาณโปรตีนในตัวปลาน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารซึ่งใช้โปรตีนทดแทนในระดับ 75% ของโปรตีนจากปลาป่น (ตารางที่ 17) แต่เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตร พบว่าทั้งชนิดของวัตถุดิบทดแทน และระดับการทดแทนโปรตีนจากปลาป่นไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในเนื้อปลา ($P>0.05$) แต่การใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทน มีผลให้ปริมาณไขมันในเนื้อปลามีค่าต่ำกว่าและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับปลาที่ได้รับเศษไก่ป่นเป็นแหล่งโปรตีนทดแทน ขณะที่ปริมาณเถ้าในเนื้อปลามีค่าไม่แตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 13 น้ำหนักเฉลี่ย (g/fish) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 2)

Variables		**0 wk**	**2 wk**	**4 wk**	**6 wk**
Individual treatment means					
Protein sources	*Protein replacement (%)*				
Soybean meal	25	5.03	21.48	64.16	119.79
Soybean meal	50	5.02	17.68	53.05	102.39
Soybean meal	75	5.03	16.27	43.54	78.81
Poultry by product	25	5.02	19.28	56.19	109.19
Poultry by product	50	5.02	16.89	43.59	80.08
Poultry by product	75	5.02	13.93	29.08	48.36
Pooled SEM		0.006	0.390	1.502	2.619
Means of main effects					
Soy bean meal		5.02	18.48^{p}	53.58^{p}	100.33^{p}
Poultry by product		5.02	16.70^{q}	42.96^{q}	79.21^{q}
	25% replacement	5.02	20.38^{x}	60.18^{x}	114.49^{x}
	50% replacement	5.02	17.29^{y}	48.32^{y}	91.24^{y}
	75% replacement	5.02	15.10^{z}	36.31^{z}	63.59^{z}
ANOVA : P value					
Protein sources		0.513	0.042	0.004	0.002
% replacement		0.991	0.000	0.000	0.000
Protein sources X % replacement		0.938	0.680	0.662	0.332

[1] Treatments means represent the average values of three aquaria per treatment. Duncan multiple range test was conducted for individual means only if there was a significant interaction (ANOVA: $P<0.05$).

[2] Means followed by the same letter are not significantly different.

[3] Main effect means followed by the same letter are not significantly different at $P<0.05$ by Duncan multiple range test; p and q for protein source and x, y and z for % protein replacement.

ตารางที่ 14 อัตราการเจริญเติบโต (%), อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/day), FCR และการรอดตาย (%) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 2)

Variables		**Weight gain (%)**	**SGR** (%/day)	**FCR**	**Survival**
Individual treatment means					
Protein sources	*Protein replacement (%)*				
Soybean meal	25	2281.93	7.55^{a}	0.91^{a}	100
Soybean meal	50	1939.09	7.17^{a}	0.91^{a}	100
Soybean meal	75	1467.40	6.55^{b}	1.01^{ab}	100
Poultry by product	25	2075.76	7.32^{a}	1.01^{ab}	100
Poultry by product	50	1496.00	6.54^{b}	1.17^{b}	100
Poultry by product	75	863.43	5.38^{c}	1.43^{c}	100
Pooled SEM		52.193	0.078	0.028	0.000
Means of main effects					
Soy bean meal		$1,896.14^{p}$	7.10^{p}	0.94^{p}	100.00
Poultry by product		$1,478.40^{q}$	6.41^{q}	1.20^{q}	100.00
	25% replacement	$2,178.85^{x}$	7.43^{x}	0.96^{x}	100.00
	50% replacement	$1,717.55^{y}$	6.86^{y}	1.04^{y}	100.00
	75% replacement	$1,165.42^{z}$	5.96^{z}	1.22^{z}	100.00
ANOVA : P value					
Protein sources		0.002	0.001	0.001	-
% replacement		0.000	0.000	0.007	-
Protein sources X % replacement		0.328	0.086	0.092	-

[1] Treatments means represent the average values of three aquaria per treatment. Duncan multiple range test was conducted for individual means only if there was a significant interaction (ANOVA: $P<0.05$).

[2] Means followed by the same letter are not significantly different.

[3] Main effect means followed by the same letter are not significantly different at $P<0.05$ by Duncan multiple range test; p and q for protein source and x, y and z for % protein replacement.

ตารางที่ 15 Condition factor และ hepatosomatic index ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 2)

Variables		**Condition factor**	**HSI (%)**
Individual treatment means			
Protein sources	*Protein replacement (%)*		
Soybean meal	25	0.94^{ab}	1.24^{b}
Soybean meal	50	0.89^{abc}	1.34^{ab}
Soybean meal	75	0.88^{bc}	1.24^{b}
Poultry by product	25	0.95^{a}	1.51^{a}
Poultry by product	50	0.85^{c}	1.23^{b}
Poultry by product	75	0.78^{d}	1.47^{ab}
Pooled SEM		0.009	0.037
Means of main effects			
Soy bean meal		0.90^{p}	1.27^{p}
Poultry by product		0.86^{q}	1.40^{q}
	25% replacement	0.94^{x}	1.37
	50% replacement	0.87^{y}	1.28
	75% replacement	0.83^{y}	1.36
ANOVA : P value			
Protein sources		0.021	0.054
% replacement		0.000	0.470
Protein sources X % replacement		0.036	0.040

[1] Treatments means represent the average values of three aquaria per treatment. Duncan multiple range test was conducted for individual means only if there was a significant interaction (ANOVA: $P<0.05$).

[2] Means followed by the same letter are not significantly different.

[3] Main effect means followed by the same letter are not significantly different at $P<0.05$ by Duncan multiple range test; p and q for protein source and x, y and z for % protein replacement.

ตารางที่ 16 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และการนำโปรตีนสะสมในร่างกาย (protein retention efficiency) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 2)

Variables		**PER**	**Protein retention (%)**
Individual treatment means			
Protein sources	*Protein replacement (%)*		
Soybean meal	25	2.90[a]	45.69[a]
Soybean meal	50	2.85[a]	42.74[a]
Soybean meal	75	2.66[a]	45.16[a]
Poultry by product	25	2.77[a]	43.45[a]
Poultry by product	50	2.29[b]	32.90[b]
Poultry by product	75	1.82[c]	27.80[b]
Pooled SEM		0.047	1.289
Means of main effects			
Soy bean meal		2.81[p]	44.53[p]
Poultry by product		2.29[q]	34.72[q]
	25% replacement	2.84[x]	44.57[x]
	50% replacement	2.57[y]	37.83[xy]
	75% replacement	2.24[z]	36.4[y]
ANOVA : P value			
Protein sources		0.000	0.002
% replacement		0.001	0.053
Protein sources X % replacement		0.031	0.096

[1] Treatments means represent the average values of three aquaria per treatment. Duncan multiple range test was conducted for individual means only if there was a significant interaction (ANOVA: P<0.05).

[2] Means followed by the same letter are not significantly different.

[3] Main effect means followed by the same letter are not significantly different at P<0.05 by Duncan multiple range test; p and q for protein source and x, y and z for % protein replacement.

ตารางที่ 17 องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 2)

Variables		**Moisture (%)**	**Protein (%)**	**Lipid (%)**	**Ash (%)**
Individual treatment means					
Protein sources	*Protein replacement (%)*				
Soybean meal	25	71.37	54.75	39.00	11.17
Soybean meal	50	72.94	55.30	38.08	13.41
Soybean meal	75	71.21	57.91	36.83	12.13
Poultry by product	25	70.94	53.70	42.55	11.86
Poultry by product	50	73.48	54.50	39.08	15.48
Poultry by product	75	74.66	59.84	37.35	15.92
Pooled SEM		0.532	0.829	0.764	0.514
Means of main effects					
Soy bean meal		71.84	55.98	37.97	12.24[p]
Poultry by product		71.03	56.02	39.66	14.42[q]
	25% replacement	71.16	54.22	40.78	11.515
	50% replacement	73.21	54.90	38.58	14.445
	75% replacement	72.93	58.88	37.09	14.027
ANOVA : P value					
Protein sources		0.287	0.985	0.290	0.055
% replacement		0.271	0.084	0.182	0.079
Protein sources X % replacement		0.334	0.725	0.694	0.487

[1] Treatments means represent the average values of three aquaria per treatment. Duncan multiple range test was conducted for individual means only if there was a significant interaction (ANOVA: $P<0.05$).

[2] Means followed by the same letter are not significantly different.

[3] Main effect means followed by the same letter are not significantly different at $P<0.05$ by Duncan multiple range test; p and q for protein source and x, y and z for % protein replacement.

ตารางที่ 18 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 2)

Variables		**Moisture (%)**	**Protein (%)**	**Lipid (%)**	**Ash (%)**
Individual treatment means					
Protein sources	*Protein replacement (%)*				
Soybean meal	25	74.14	67.54	27.74	4.08
Soybean meal	50	74.38	71.00	27.63	4.27
Soybean meal	75	75.27	71.69	27.89	4.33
Poultry by product	25	71.78	67.78	32.66	3.84
Poultry by product	50	74.42	69.13	30.54	3.98
Poultry by product	75	75.33	68.91	30.43	4.21
Pooled SEM		0.323	0.757	0.649	0.096
Means of main effects					
Soy bean meal		74.59	70.08	27.75^{p}	4.23
Poultry by product		73.85	68.61	31.21^{q}	4.01
	25% replacement	72.96^{x}	67.66	30.20	3.96
	50% replacement	74.40^{xy}	70.07	29.08	4.13
	75% replacement	75.30^{y}	70.30	29.16	4.27
	ANOVA : P value				
	Protein sources	0.268	0.352	0.021	0.268
	% replacement	0.036	0.324	0.740	0.452
	Protein sources X % replacement	0.250	0.713	0.730	0.934

[1] Treatments means represent the average values of three aquaria per treatment. Duncan multiple range test was conducted for individual means only if there was a significant interaction (ANOVA: $P<0.05$).

[2] Means followed by the same letter are not significantly different.

[3] Main effect means followed by the same letter are not significantly different at $P<0.05$ by Duncan multiple range test; p and q for protein source and x, y and z for % protein replacement.

ผลการทดลองที่ 3 : ผลของคาร์โบไฮเดรตจากแหล่งต่างๆ ต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของปลาดุกลูกผสม

การทดลองที่ 3 เป็นการศึกษาถึงผลของคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆ ได้แก่ รำละเอียด ข้าวโพดป่น กากปาล์ม และมันสำปะหลังบดในอาหารต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลาดุกลูกผสมในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลาดุกร้า การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง พบว่าอาหารทดลองที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 37.26-38.67% ส่วนปริมาณไขมันมีค่า 9.62-11.49%

การเจริญเติบโตของปลา

เมื่อนำอาหารทดลองดังกล่าวเลี้ยงปลาดุกลูกผสมเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆ ได้แก่ รำละเอียด ข้าวโพดป่น กากปาล์ม และมันสำปะหลังบด มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง อยู่ระหว่าง 87.92-106.40 กรัมต่อตัว ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 19) นอกจากนี้ยังพบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรมีอัตราการเจริญเติบโต อยู่ในช่วง 932.66-1150.14% อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมีค่าระหว่าง 5.56—6.01%ต่อวัน ส่วนอัตราแลกเนื้อ และการรอดตายมีค่า 1.24-1.61 และ93.33-100.00% ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 20) เช่นเดียวกับค่า Condition factor, hepatosomatic index ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และการนำโปรตีนสะสมในร่างกาย (protein retention efficiency) ของปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 21-22)

องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา พบว่าการใช้กากปาล์มเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตมีผลให้ปริมาณโปรตีนในตัวปลาทั้งตัวน้อยกว่าการใช้รำละเอียด ข้าวโพดป่น และมันสำปะหลังบดเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต ($P<0.05$) (ตารางที่ 23) นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้มันสำปะหลังบดเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตมีผลให้ปริมาณโปรตีนในเนื้อปลาสูง ไม่แตกต่างจากการใช้รำละเอียด และข้าวโพดป่น ขณะที่ปลาที่ได้รับมันสำปะหลังบดเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตมีปริมาณไขมันในเนื้อต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากการใช้ข้าวโพดป่นเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต (ตารางที่ 24)

ตารางที่ 19 น้ำหนักเฉลี่ย (g/fish) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 3)

	0 wk	2 wk	4 wk	6 wk
T1 Rice bran	8.51+0.02^{ns}	23.00+1.07^{ns}	57.05+1.00^{ns}	87.92+1.50^{ns}
T2 Corn meal	8.52+0.03^{ns}	24.71+3.28^{ns}	61.80+11.69^{ns}	92.95+15.30^{ns}
T3 Palm meal	8.51+0.01^{ns}	26.99+2.62^{ns}	67.40+9.13^{ns}	106.40+9.89^{ns}
T4 Cassava	8.51+0.02^{ns}	25.32+0.85^{ns}	63.57+5.03^{ns}	101.48+11.88^{ns}
P-value (F-test)	0.465	0.124	0.241	0.118

ns = non-significant.

ตารางที่ 20 อัตราการเจริญเติบโต (%), อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/day), FCR และการรอดตาย (%)ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 3)

	Weigh gain	FCR	SGR	Survival
T1 Rice bran	932.66+15.55^{ns}	1.56+0.03^{ns}	5.56+0.04^{ns}	100.00+0.00^{ns}
T2 Corn meal	991.24+176.66^{ns}	1.61+0.37^{ns}	5.67+0.40^{ns}	93.33+6.67^{ns}
T3 Palm meal	1150.14+115.53^{ns}	1.24+0.13^{ns}	6.01+0.23^{ns}	100.00+0.00^{ns}
T4 Cassava	1093.20+142.89^{ns}	1.34+0.14^{ns}	5.89+0.29^{ns}	97.78+3.85^{ns}
P-value (F-test)	0.116	0.089	0.125	0.096

ns = non-significant.

ตารางที่ 21 Condition factor และ hepatosomatic index ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 3)

	CF	HSI
T1 Rice bran	0.93+0.04^{ns}	1.28+0.11^{ns}
T2 Corn meal	0.88+0.06^{ns}	1.37+0.19^{ns}
T3 Palm meal	0.92+0.03^{ns}	1.46+0.26^{ns}
T4 Cassava	0.88+0.06^{ns}	1.51+0.38^{ns}
P-value (F-test)	0.284	0.121

ns = non-significant.

ตารางที่ 22 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และการนำโปรตีนสะสมในร่างกาย (protein retention efficiency) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 3)

	PER	**Prot. retention**
T1 Rice bran	1.66+0.04 ^{a}	26.74+0.60 ^{ns}
T2 Corn meal	1.72+0.36 ^{ab}	27.51+5.61 ^{ns}
T3 Palm meal	2.15+0.22 ^{b}	31.51+3.21 ^{ns}
T4 Cassava	1.99+0.20 ^{ab}	31.16+3.11 ^{ns}
P-value (F-test)	0.048	0.157

ns = non-significant.

Means within columns not sharing the same superscript are significantly different (P<0.05).

ตารางที่ 23 องค์ประกอบทางเคมี (%) ของตัวปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 3)

	Moisture	**Protein**	**Lipid**	**Ash**
Initial fish	*79.46+0.82*	*60.32+4.24*	*17.72+1.31*	*15.20+1.30*
T1 Rice bran	71.82+0.93 ^{ns}	55.79+4.76 ^{b}	38.47+4.04 ^{ns}	10.45+2.75 ^{ns}
T2 Corn meal	71.76+1.10 ^{ns}	55.31+1.42 ^{b}	36.33+2.07 ^{ns}	14.96+2.52 ^{ns}
T3 Palm meal	71.26+0.60 ^{ns}	50.38+1.26 ^{a}	37.54+1.62 ^{ns}	10.30+3.99 ^{ns}
T4 Cassava	72.58+0.85 ^{ns}	56.02+0.10 ^{b}	37.22+1.10 ^{ns}	11.27+0.94 ^{ns}
P-value (F-test)	0.196	0.040	0.384	0.106

ns = non-significant.

Means within columns not sharing the same superscript are significantly different (P<0.05).

ตารางที่ 24 องค์ประกอบทางเคมี (%) ของเนื้อปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 3)

	Moisture	**Protein**	**Lipid**	**Ash**
T1 Rice bran	74.55+0.75^{ns}	72.21+1.21^{ab}	31.21+1.12^{b}	4.68+0.33^{ab}
T2 Corn meal	75.56+1.47^{ns}	71.95+4.07^{ab}	27.16+4.27^{ab}	5.11+0.65^{b}
T3 Palm meal	74.03+0.60^{ns}	68.88+1.76^{a}	31.11+2.29^{b}	4.16+0.02^{a}
T4 Cassava	75.76+0.48^{ns}	74.57+1.87^{b}	25.52+1.05^{a}	4.98+0.09^{b}
P-value (F-test)	0.069	0.049	0.031	0.026

ns = non-significant.

Means within columns not sharing the same superscript are significantly different ($P<0.05$).

ผลการทดลองที่ 4 : ผลของสูตรอาหารต่อปริมาณผลผลิต และประสิทธิภาพการผลิตปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในกระชังในบ่อดิน

การเจริญเติบโตของปลา

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวจากการเลี้ยงเป็นเวลา 6 สัปดาห์ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า และอาหารทดลองสูตรที่มีผลให้โปรตีนในเนื้อสูง และไขมันในเนื้อต่ำที่สุด (อาหารทดลองสูตรสำหรับเลี้ยงปลาดุกร้า) ซึ่งเป็นสูตรที่ได้จากผลจากการทดลองที่ 1-3 แสดงในตารางที่ 25 ทั้งนี้พบว่าเมื่อน้ำหนักเฉลี่ยของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทั้ง 2 สูตรมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อดำเนินการเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ จนถึงขนาดที่เหมาะสมสำหรับใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ปลาดุกร้า พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า และอาหารทดลองสูตรสำหรับเลี้ยงปลาดุกร้ามีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าระหว่าง 150.21-155.42 กรัมต่อตัว

อัตราการเจริญเติบโต และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า เปรียบเทียบกับอาหารทดลองสูตรสำหรับเลี้ยงปลาดุกร้าแสดงในตารางที่ 26 พบว่าทั้งอัตราการเจริญเติบโต และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่ค่า FCR ของปลาที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า และอาหารทดลองสูตรสำหรับเลี้ยงปลาดุกร้ามีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยเห็นได้ชัดเจนว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรสำหรับเลี้ยงปลาดุกร้ามีค่า FCR ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า อย่างไรก็ตามการรอดตายของปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 2 สูตรมีค่าระหว่าง 82.00-88.33% ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการสะสมในตัวปลา

เมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 6 พบว่าค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า และอาหารทดลองสูตรสำหรับเลี้ยงปลาดุกร้ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ในขณะที่เมื่อพิจารณาค่าการนำโปรตีนสะสมในร่างกาย (protein retention efficiency) พบว่าการใช้อาหารทดลองสูตรสำหรับเลี้ยงปลาดุกร้ามีผลให้ค่าการนำโปรตีนสะสมในร่างกายสูงกว่า และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า (ตารางที่ 27)

องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา

เมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 6 พบว่าปริมาณความชื้นในปลาทั้งตัวของกลุ่มปลาที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า กับปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรปลาดุกร้ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ขณะที่ปริมาณโปรตีนในตัวปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองสูตรปลาดุกร้ามีค่าสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า เช่นเดียวกันกับปริมาณไขมันในตัวปลา ซึ่งพบว่าการใช้อาหารทดลองสูตรปลาดุกร้าเลี้ยงปลามีผลให้ปริมาณไขมันในปลาทั้งตัวลดลง และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า อย่างไรก็ตามทั้งปริมาณเถ้าในตัวปลาที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า และอาหารทดลองสูตรปลาดุกร้ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 28)

องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา

เมื่อตรวจวัดปริมาณความชื้นในเนื้อปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า กับปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรปลาดุกร้า พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 29) แต่ปริมาณโปรตีนในเนื้อปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองสูตรปลาดุกร้ามีค่าสูงกว่า ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า ในขณะที่ปริมาณไขมันในตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรปลาดุกร้ามีค่าต่ำกว่า และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบปลาที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า ส่วนปริมาณเถ้าในเนื้อปลาที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า และอาหารทดลองสูตรปลาดุกร้ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 29)

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของสูตรอาหารทดลอง

เมื่อทำเปรียบเทียบต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักผลผลิต ระหว่างการใช้ อาหารสำเร็จรูปเชิงการค้ากับการใช้อาหารทดลองสูตรปลาดุกร้า เลี้ยงปลาดุกลูกผสมจนถึงขนาดตลาดสำหรับใช้ในการแปรรูปเป็นปลาดุกร้า (6 สัปดาห์) พบว่าการใช้ อาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า และการใช้อาหารทดลองสูตรปลาดุกร้า มีต้นทุนค่าอาหาร 29.40 และ 23.79 บาทต่อกิโลกรัมตามลำดับ (ตารางที่ 30) ซึ่งพบว่าการใช้อาหารทดลองสูตรปลาดุกร้าเลี้ยงปลาทำให้ต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตลดต่ำลง และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเทียบกับการใช้อาหารสำเร็จรูปเชิงการค้าเลี้ยงปลาในระยะเวลาเท่ากัน

ตารางที่ 25 น้ำหนักเฉลี่ย (g/fish) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 4)

	0 wk	**6 wk**
T1 Commercial diet	7.54±0.24	150.21±2.66
T2 Experimental diet	7.39±0.20	155.42±3.99
P-value (t-test)	0.736	0.133

ตารางที่ 26 อัตราการเจริญเติบโต (%), อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/day), FCR และการรอดตาย (%) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 4)

	Weigh gain	**FCR**	**SGR**	**Survival**
T1 Commercial diet	1917.35±92.87	1.01±0.04*	7.15±0.11	82.00±5.29
T2 Experimental diet	2004.36±44.66	0.90±0.01**	7.25±0.05	88.33±4.93
P-value (t-test)	0.214	0.007	0.228	0.204

*,** significantly different among treatment (P<0.05)

ตารางที่ 27 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และการนำโปรตีนสะสมในร่างกาย (protein retention efficiency) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 4)

	PER	**Prot. Retention (%)**
T1 Commercial diet	2.90±0.11	43.90±1.65*
T2 Experimental diet	2.93±0.03	49.94±0.50**
P-value (t-test)	0.675	0.004

*,** significantly different among treatment (P<0.05)

ตารางที่ 28 องค์ประกอบทางเคมี (%) ของตัวปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 4)

	Moisture	**Protein**	**Lipid**	**Ash**
Initial fish	76.90	68.73	16.58	15.21
T1 Commercial diet	71.71±0.83	53.61±2.34*	39.73±1.16**	9.21±2.41
T2 Experimental diet	72.68±1.08	62.08±2.28**	34.50±2.32*	8.75±4.54
P-value (t-test)	0.284	0.011	0.025	0.885

*,** significantly different among treatment (P<0.05)

ตารางที่ 29 องค์ประกอบทางเคมี (%) ของเนื้อปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 4)

	Moisture	**Protein**	**Lipid**	**Ash**
T1 Commercial diet	74.03±0.15*	58.23±8.13*	36.21±2.23**	4.10±0.28
T2 Experimental diet	76.07±0.75**	74.21±2.81**	27.70±1.92*	4.84±0.62
P-value (t-test)	0.010	0.032	0.007	0.137

*,** significantly different among treatment (P<0.05)

ตารางที่ 30 ต้นทุนค่าอาหารของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (การทดลองที่ 4)

	Feed cost /kg fish
T1 Commercial diet	29.40±1.08**
T2 Experimental diet	23.79±0.24*
P-value (t-test)	0.001

*,** significantly different among treatment (P<0.05)

บทที่ 5

วิจารณ์ และสรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 1 พบว่าปลาดุกลูกผสมระยะปลานิ้วที่ใช้ในการทดลองนี้มีการเจริญเติบโตรวดเร็ว พบว่าในระยะเวลา 6 สัปดาห์มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดถึง 2,281.93 % ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการศึกษาเกี่ยวกับความต้องการวิตามินซีในปลาดุกลูกผสม (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*) ที่พบว่าปลาดุกที่ได้รับสารอาหารครบถ้วนมีอัตราการเจริญเติบโต 2,920-3,315 % ในระยะเวลา 10 สัปดาห์ (Boonyaratpalin and Phromkunthong, 2001) นอกจากนี้ตลอดระยะเวลาการทดลองปลามีการรอดตายสูง และมีสุขภาพ และลักษณะภายนอกปกติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการดำเนินการทดลองนี้มีสภาพแวดล้อม และการจัดการระบบที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลา ในการทดลองศึกษาระดับของโปรตีน และไขมันในอาหารของปลาดุกลูกผสมระยะปลานิ้วเป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีระดับโปรตีนในอาหารที่ระดับโปรตีน 38 %มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว, น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น, อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุด โดยมีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับ Van Weerd (1995) ที่ได้รายงานว่าปลาดุกในครอบครัว Claridae ได้แก่ *Clarias gariepinus, C. isheriensis, C. batrachus* และ *C. fuscus* มีความต้องการโปรตีนในอาหารประมาณ 40 % โดยที่มีระดับความต้องการพลังงานอยู่ในช่วง 13-17 kJ / g ตลอดจนการทดลองของ Adebayo and Quadri (2005) ซึ่งทำการทดลองในปลาดุกลูกผสม *Clarias gariepinus* × *Heterobranchus bidorsalis* ขนาด 12.53±0.35 กรัมต่อตัว เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า ปลามีการเจริญเติบโตสูงที่สุดเมื่อได้รับอาหารที่มีปริมาณโปรตีน 40 % อีกทั้งยังสอดคล้องกับการทดลองของ สุภฎา และคณะ (2551) ที่ทำการทดลองกับปลาดุกลำพันระยะปลานิ้วที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 8.35- 8.46 กรัม โดยให้อาหารทดลองที่มีระดับโปรตีนในอาหารแตกต่างกัน คือ 32, 36, 40 และ 44 % เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารทดลองที่มีระดับโปรตีนในอาหาร 40 และ 44 % มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุด และยังมีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำที่สุดอีกด้วย Wilson and Moreau (1996) ได้รายงานว่าปลาดุกหลายชนิดในแอฟริกาได้แก่ *Clarias gariepinus, C. isheriensis, Heterobranchus longifilis* และ *H. bidorsalis* ตลอดจนปลาดุกเอเชีย ได้แก่ *Clarias batrachus, C. macrocephalus, C. fuscus* และ *Heteropneustes fossilis* รวมทั้งปลาดุกยุโรป (*Silurus glanis*) มีความต้องการระดับโปรตีนในอาหารอยู่ในช่วง 35- 43 %

ระดับไขมันในอาหารที่ปลาได้รับมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาเช่นกัน ปลาจะนำไขมันที่ได้รับไปใช้ประโยชน์ทั้งในด้านเป็นแหล่งพลังงาน และเป็นแหล่งกรดไขมันจำเป็นสำหรับสร้างโครงสร้าง

ต่างๆ ของร่างกาย (Halver and Hardy, 2002) การใช้ไขมันเหมาะสมในอาหารปลา จะลดการเผาผลาญโปรตีนเป็นพลังงาน และช่วยให้การนำโปรตีนจากอาหารไปใช้ประโยชน์เพิ่มมากขึ้น (Kim and Lee. 2005) ตามปกติแล้วปลาเผาผลาญไขมันเพื่อใช้เป็นพลังงานโดยปฏิกิริยา β-oxidation ที่ส่วนไมโตคอนเดรียภายในเซลล์ตับ (Kohlmeier, 2003) แต่ก็จะมีการนำกรดไขมันจำเป็นจากไขมันในอาหารที่ได้รับไปใช้ประโยชน์ในร่างกาย ทั้งเพื่อสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ต่างๆ และสังเคราะห์เป็นกรดไขมันไม่จำเป็นเพื่อประโยชน์อื่นๆ ในร่างกาย (Halver and Hardy, 2002) รวมทั้งยังทำหน้าที่ช่วยในการขนส่งลำเลียงวิตามินละลายไขมันในร่างกายปลา (Ng *et al.*, 2003; Sotolu, 2010) จากการทดลองนี้พบว่าปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองที่มีไขมันสูงขึ้นจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้นด้วยซึ่งแสดงให้เห็นว่าปลาดุกลูกผสมสามารถนำไขมันในอาหารไปใช้เป็นแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิตได้ดี รวมทั้งอาจจะมีกระบวนการเมแทโบลิซึมในการสลายกรดไขมันจากอาหารที่ได้รับไปเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดียว เพื่อเก็บสะสมในร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Halver and Hardy, 2002) อย่างไรก็ตามปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองที่มีไขมัน 11-14% ในการทดลองนี้มีอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันทางสถิติ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาดุกลูกผสมมีค่าลดลงตามระดับโปรตีนในอาหารที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Kim and Lee (2005) ที่ทำการทดลองในปลากด (*Pseudobagrus fulvidraco*) ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนจากอาหารที่ปลาได้รับจะถูกนำไปใช้ในการดำรงชีวิต ส่วนที่เหลือจะนำไปสะสมในร่างกาย ส่งผลให้ปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนต่ำ ต้องเผาผลาญโปรตีนไปเป็นพลังงานในการดำรงชีวิต และเหลือโปรตีนเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตน้อย จึงมีการเจริญเติบโตลดลง ซึ่งต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูง ซึ่งได้รับโปรตีนมากเพียงพอสำหรับนำไปใช้ในการเจริญเติบโต (Guillaume *et al.*, 1999) จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในตัวปลา พบว่าปลาดุกลูกผสมในการทดลองที่ 1 มีปริมาณโปรตีนในปลาทั้งตัว และในเนื้อไม่แตกต่างกัน แต่ระดับของไขมันในอาหารมีผลต่อปริมาณไขมันในเนื้อปลา ทั้งนี้ปลาที่ได้รับอาหารไขมันสูงจะมีปริมาณไขมันในเนื้อปลาเพิ่มขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวจะส่งผลเสียต่อคุณภาพเนื้อปลา ทำให้ลักษณะปรากฏของเนื้อ และกลิ่นของเนื้อปลาไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Ng *et al.* 2003) เนื่องจากปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทดลองที่มีโปรตีน 38% ในระดับไขมัน 11-14% มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด และไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่จากการวิเคราะห์ไขมันในเนื้อปลาพบว่า ปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารที่มีไขมันสูงจะมีปริมาณไขมันในเนื้อสูงขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้สูตรอาหารที่มีไขมันไม่เกิน 11% มาใช้เป็นสูตรอาหารพื้นฐานสำหรับการศึกษาสูตรอาหารเพื่อพัฒนาคุณภาพผลผลิตปลาดุกลูกผสมต่อไป

การทดลองที่ 2 ได้นำสูตรอาหารที่มีโปรตีน 38% และไขมัน 11% ซึ่งเป็นสูตรอาหารที่ให้ผลการทดลองในด้านการเจริญเติบโต และคุณภาพเนื้อปลาที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 มาศึกษาถึงชนิดของวัตถุดิบทดแทนปลาป่น เพื่อลดต้นทุนการผลิต ทั้งการทดลองใช้กากถั่วเหลือง และเศษไก่ป่นเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนในระดับ 25-75% ของโปรตีนจากปลาป่น ผลจากการศึกษาในปลาดุกลูกผสมระยะปลา

นิ้ว ในครั้งนี้ พบว่าอัตราการเจริญเติบโต และการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาที่ได้รับกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนมีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับเศษไก่ป่น ทั้งนี้การใช้วัตถุดิบทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในระดับ 25% ของโปรตีนจากปลาป่นทำให้ปลามีการเจริญเติบโตสูงกว่าการทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในระดับ 50-75% จากการวิเคราะห์องค์ประกอบปลาทั้งตัว และเนื้อปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าการใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนมีผลให้ปริมาณไขมันในเนื้อปลามีค่าต่ำกว่าการใช้เศษไก่ป่นเป็นแหล่งโปรตีนทดแทน แม้ว่าการใช้วัตถุดิบโปรตีนทดแทนในระดับ 75% มีผลให้ปริมาณโปรตีนในปลาทั้งตัวมีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนในเนื้อ พบว่าระดับของวัตถุดิบโปรตีนทดแทนไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในเนื้อปลา การทดลองนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นได้ในระดับ 25% ของโปรตีนทั้งหมดในอาหาร แสดงให้เห็นว่าปลาดุกลูกผสมสามารถยอมรับ และใช้โปรตีนจากวัตถุดิบประเภทพืชได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการกินอาหารของปลาดุกซึ่งเป็นปลากินทั้งพืชและสัตว์ (omnivorous fish) แม้ว่ากากถั่วเหลืองจะเป็นวัตถุดิบโปรตีนที่ขาดกรดอะมิโนจำเป็นบางชนิดโดยเฉพาะ methionine รวมทั้งยังอาจมีการปนเปื้อนของสารยับยั้งการย่อย ได้แก่ protease (trypsin) inhibitor, phytohaemagglutinin และ anti vitamin แต่ทั้งนี้สามารถทำลายสารยับยั้งการย่อยดังกล่าวได้เมื่อผ่านความร้อนให้กับถั่วเหลืองก่อนที่จะนำมาใช้ผสมในอาหารปลา (Tacon, 1996) กากถั่วเหลืองที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นกากถั่วเหลืองไขมันเต็ม (full fat soy bean meal) ซึ่งจัดเป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางอาหารสูง และมีสารปนเปื้อนต่ำ แต่เนื่องด้วยถั่วเหลืองมีปริมาณกรดอะมิโน methionine ต่ำจึงเหมาะที่จะใช้ทดแทนปลาป่นในอาหารสัตว์น้ำได้บางส่วน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในปลาดุกลูกผสมในครั้งนี้ที่พบว่าการใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนในปริมาณที่มากกว่า 50 % ของโปรตีนในอาหารจะส่งผลให้การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการสะสมโปรตีนในตัวปลาลดลงได้ นอกจากปัญหาที่เกิดจากภาวะกรดอะมิโน methionine ในอาหารต่ำแล้ว ในกากถั่วเหลืองอาจมีสารยับยั้งสารอาหารหลายชนิด ซึ่งอาจมีผลให้การเจริญเติบโตของปลาลดลงได้ (El-Sayed, 1999) ขณะที่การใช้เศษไก่ป่นเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนในอาหารปลาดุกลูกผสมมีผลให้การเจริญเติบโตของปลาลดลง และมีปริมาณไขมันในเนื้อปลาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากปลาดุกมีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนจากเศษไก่ป่นได้น้อยกว่ากากถั่วเหลือง ทำให้ปลามีการเจริญเติบโตต่ำกว่าการใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทน อีกทั้งองค์ประกอบกรดอะมิโนของเศษไก่ป่น ที่มีปริมาณ Lysine และ Tryptophan ต่ำกว่าปลาป่น (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) อาจมีผลให้กระบวนการเผาผลาญไขมันของปลาดุกลูกผสมเกิดภาวะไม่สมดุลย์ เป็นเหตุให้มีปริมาณไขมันในเนื้อปลาสูงกว่าปลาที่ได้รับกากถั่วเหลือง

ผลจากการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่าการใช้อาหารทดลองที่มีโปรตีน 38% มีผลให้ปลาดุกลูกผสมมีการเจริญเติบโตดี และมีการแลกเนื้อต่ำที่สุด ทั้งนี้อาหารที่มีระดับไขมัน 11-14% มีผลให้ปลาดุกลูกผสมมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน แต่การใช้อาหารที่มีไขมัน 14% มีผลให้ปริมาณไขมันในเนื้อ

ปลาเพิ่มสูงขึ้นซึ่งไม่เป็นผลดีในการนำเนื้อปลามาใช้ในการแปรรูป ดังนั้นอาหารที่มีโปรตีน 38% และไขมัน 11% จึงเป็นอาหารที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้เลี้ยงปลาดุกลูกผสม โดยการใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในปริมาณ 25% ของโปรตีนจากปลาป่น (19-20 % ในสูตรอาหาร) จะส่งผลปลาให้มีการเจริญเติบโตสูง อัตราการแลกเนื้อต่ำ และมีปริมาณไขมันในเนื้อน้อยลง ซึ่งเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ปลาดุกร้าต่อไป

การทดลองที่ 3 ได้นำสูตรอาหารที่มีโปรตีน 38% และไขมัน 11% โดยการใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในปริมาณ 25% ของโปรตีนจากปลาป่น (19-20 % ในสูตรอาหาร) ซึ่งเป็นสูตรอาหารที่ให้ผลการทดลองในด้านการเจริญเติบโต และคุณภาพเนื้อปลาที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 1-2 ซึ่งพบว่าการใช้รำละเอียด ข้าวโพดป่น กากปาล์ม และมันสำปะหลังบดในอาหารไม่มีผลต่อน้ำหนักเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราแลกเนื้อ และการรอดตาย ตลอดจนค่า Condition factor และ hepatosomatic index และการนำโปรตีนสะสมในร่างกาย (protein retention efficiency) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปลาดุกลูกผสมมีระบบการย่อยที่มีประสิทธิภาพ และสามารถนำคาร์โบไฮเดรตจากวัตถุดิบที่หลากหลายไปใช้ประโยชน์ในร่างกายได้ดี สอดคล้องกับรายงานของ Jantrarotai *et al.* (1996) ซึ่งได้ทำการทดลองใช้คาร์โบไฮเดรตจากแหล่งต่างๆ ได้แก่น้ำตาลทราย เดกตริน แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และ แป้งมันสำปะหลังในอาหารปลาดุกลูกผสม พบว่าการใช้แป้งสาลีเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตมีผลให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาสูงที่สุด ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากแป้งสาลีเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่มีโปรตีนสูงกว่าวัตถุดิบอื่น ๆ แต่ ค่า FCR ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์ของโปรตีนสุทธิ ตลอดจนองค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัวไม่แตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง ซึ่งคณะผู้วิจัยได้สรุปว่าปลาดุกลูกผสมสามารถใช้คาร์โบไฮเดรตหลายชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามระดับของคาร์โบไฮเดรตในอาหารที่เหมาะสมสำหรับปลาดุกลูกผสมจะขึ้นอยู่กับระดับพลังงานรวมในอาหาร ทั้งนี้ Jantrarotai *et al.* (1994) ได้ทำการทดลองใช้ปลายข้าวเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตในอาหารปลาดุกลูกผสมในระดับต่างๆ ในอาหารที่มีระดับพลังงานที่ย่อยได้ (digestible energy, DE) 281 kcal/100 g เท่ากันทุกสูตร ผลการทดลองพบว่าปลาดุกลูกผสมขนาด 22 กรัม สามารถใช้ปลายข้าวเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตได้อย่างมีประสิทธิภาพในปริมาณ 37-50% ของสูตรอาหาร เมื่ออาหารทดลองมีไขมัน 4.4-9.6% หรือ ในอัตราส่วน CHO/Lipid = 3.83-11.24 : 1

อย่างไรก็ตามในการทดลองครั้งนี้ พบว่าการใช้กากปาล์มเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในอาหารปลาดุกลูกผสมมีผลให้ปริมาณโปรตีนในตัวปลาน้อยกว่าการใช้รำละเอียด ข้าวโพดป่น และมันสำปะหลังบดเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต แม้ว่าจะมีการเจริญเติบโต ตลอดจนประสิทธิภาพการใช้อาหารในด้าน FCR ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์ของโปรตีนสุทธิเท่ากับแหล่งคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ เนื่องจากกากปาล์มเป็นวัตถุดิบคาร์โบไฮเดรตจากพืชที่มีส่วนประกอบของเยื่อใยในปริมาณสูงส่งผลให้

ประสิทธิภาพการย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้ลดลง เมื่อเพิ่มระดับกากปาล์มในอาหารมากเกินไป แม้ว่า ศิริศักดิ์ และคณะ (2540) ได้ศึกษาถึงการใช้กากปาล์มน้ำมันทดแทนรำละเอียดในอัตรา 10 20 และ 30 % ในอาหารปลาดุกแอฟริกัน ขนาด 1.92 กรัม เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า สูตรอาหารที่ใช้กากปาล์ม 20% ทำให้ปลามีผลผลิตสูงสุด และมีอัตราการรอดสูงกว่าสูตรควบคุม รวมทั้งมีต้นทุนค่าอาหารต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามไม่มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับผลของระดับกากปาล์มในอาหารต่อประสิทธิภาพการย่อย และองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา แต่มีความเป็นไปได้ที่ปลาดุกลูกผสมซึ่งได้รับอาหารทดลองที่มีกากปาล์มเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในการทดลองนี้จะย่อยสารอาหารจากกากปาล์มได้น้อย เป็นเหตุให้ได้รับพลังงานต่ำ แต่ปลาจะปรับตัวต่อสภาพดังกล่าวได้โดยใช้พลังงานจากโปรตีนในอาหารมากขึ้น (Halver and Hardy, 2002) ซึ่งจะทำให้มีปริมาณโปรตีนเหลือสะสมในตัวปลาน้อยลงได้ ในการทดลองผลของคาร์โบไฮเดรตจากแหล่งต่างๆ ในปลาดุกลูกผสมครั้งนี้ยังพบว่าการใช้มันสำปะหลังบดเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตมีผลให้ปริมาณโปรตีนในเนื้อปลาสูง ไม่แตกต่างจากการใช้รำละเอียด และข้าวโพดป่น แสดงให้เห็นว่า มันสำปะหลังบด รำละเอียด และข้าวโพดป่น เป็นวัตถุดิบที่ปลาดุกลูกผสมสามารถย่อยและนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ดี ส่งผลให้มีการเผาผลาญโปรตีนเป็นพลังงานน้อยลง ซึ่งจะทำให้มีโปรตีนที่ปลาได้รับจากอาหารเหลืออยู่มากเพียงพอสำหรับการสะสมโปรตีนในตัวปลา เช่นเดียวกันกับผลการทดลองระดับโปรตีน และไขมันในอาหารปลาช่อนทะเล (*Rachycentron canadum*) ซึ่งพบว่าปริมาณโปรตีนในเนื้อปลาจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับของโปรตีนที่ปลาได้รับจากอาหาร (Craig *et al.*, 2006) ขณะที่ปลาที่ได้รับมันสำปะหลังบด และข้าวโพดป่นเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต มีปริมาณไขมันในเนื้อต่ำกว่าการใช้รำละเอียด ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากองค์ประกอบกรดไขมันในวัตถุดิบดังกล่าวมีความแตกต่างกัน นำไปสู่การดูดซึม และกระบวนการเผาผลาญ หรือใช้ประโยชน์จากกรดไขมันที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ประสิทธิภาพการย่อยและนำไขมันจากอาหารไปใช้ประโยชน์ขึ้นกับจำนวน และตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันที่แตกต่างกันในน้ำมันแต่ละชนิด (Guillaume *et al.*, 2001) Arslan *et al.* (2008) รายงานว่าปลาดุกอเมริกาใต้ (*Pseudoplatystoma fasciatum*) สามารถนำกรดไขมันจากน้ำมัน linseed และน้ำมันมะกอกไปใช้ประโยชน์ในร่างกายได้ดี ทั้งนี้อาหารทดลองที่มีน้ำมัน linseed และน้ำมันมะกอก ส่วนใหญ่มีกรดไขมัน Linoleic acid เป็นองค์ประกอบหลัก และพบว่าปลาในกลุ่มนี้สามารถนำ Linoleic acid ที่ได้รับจากอาหารไปใช้ในการสังเคราะห์กรดไขมันไม่จำเป็นชนิดอื่นๆ ในร่างกายได้ดี ผลจากการทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้มันสำปะหลังบด หรือข้าวโพดป่นเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตทำให้ปลาดุกลูกผสมมีการเจริญเติบโตดี โดยที่มีปริมาณโปรตีนในเนื้อสูง และไขมันต่ำกว่าอาหารสูตรอื่นๆ แต่ด้วยเหตุผลด้านราคาของข้าวโพดป่นที่มีราคาสูงกว่ามันสำปะหลังบด ดังนั้นเพื่อให้ต้นทุนการผลิตอาหารต่ำที่สุดจึงเลือกใช้มันสำปะหลังบดเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในอาหารปลาดุกลูกผสม และดำเนินการทดลองศึกษาปริมาณผลผลิต และประสิทธิภาพการผลิตปลาดุกลูกผสมเพื่อการแปรรูปเป็นปลาดุกร้าเปรียบเทียบกับการใช้อาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า (การทดลองที่ 4) ซึ่งพบว่าการ

ใช้การใช้อาหารทดลองที่ให้ผลดีที่สุดจากการทดลองนี้ (โปรตีน 38% ไขมัน 11% โดยการใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนในปริมาณ 25% ของโปรตีนจากปลาป่น และใช้มันสำปะหลังบดเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต 14.22 % ในสูตรอาหาร) ทำให้ปริมาณโปรตีนในเนื้อปลาสูงขึ้น 27.44% ขณะที่ไขมันในเนื้อปลาลดลง 23.50% เมื่อเทียบกับการใช้อาหารสำเร็จรูปเชิงการค้าสำหรับปลาดุกเล็ก และมีผลให้ต้นทุนการผลิตลดต่ำลง 5.61 บาทต่อผลผลิตปลา 1 กิโลกรัม หรือลดต้นทุนลงได้ 19.08% เมื่อเทียบกับการใช้อาหารสำเร็จรูปเชิงการค้าสำหรับปลาดุกเล็กในการเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

เอกสารอ้างอิง

โชคชัย เหลืองธุวปราณีต (2547). หลักการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. ภาควิชาเทคโนโลยีและอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นำชัย เจริญเทศประสิทธิ์, วิรัช จิ๋วแหยม, สำเนาว์ ข้องสาย และสนอง เทียบศรี (2540). ระดับโปรตีนในอาหารและความหนาแน่นที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาหมอไทย (*Anabus testudineus*) ในกระชัง. แก่นเกษตร เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 1/2540 หน้า 42-47.

นำชัย เจริญเทศประสิทธิ์ และวิรัช จิ๋วแหยม (2539). ความต้องการโปรตีนในอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของปลาหมอไทย (*Anabus testudineus*). แก่นเกษตร เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 3/2539 หน้า 116-120.

มงคล ว่องสมบัติ (2548). การเพาะพันธุ์และการเลี้ยงปลาดุก. กรุงเทพฯ : เกษตรสยามบุ๊คส์

วิมล จันทรโรทัย (2536). พลังงานเพื่อการอยู่รอดของปลา. วารสารการประมง 46(5) : 465-470.

วีรพงศ์ วุฒิพัฒธุ์ชัย (2536). อาหารปลา. ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

วุฒิพร พรหมขุนทอง, วิมล จันทรโรทัย, นรินทร์ สงสีจันทร์ และนพพร มานะจิตต์ (2540). ระดับโปรตีนในอาหารที่เหมาะสมต่อปลากดเหลืองขนาดปลานิ้ว. วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 19(3) : 328-335.

เวียง เชื้อโพธิ์หัก (2528). อาหารปลา. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริศักดิ์ บริรักษ์ธนกุล, อัมพร สมบูรณ์มาก และศิริวัลย์ รัตนนาคินทร์. (2540). การใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันในอาหารปลาดุกอุยเทศ. รายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 14: สาขาสัตวศาสตร์ และการประมง. หน้า 262-269.

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

AOAC. (1990). Official Methods of Analysis. 15th ed. The Association of official Analytical Chemists Washington, D.C.

Arslan, M., Rinchard, J., Dabrowski, K. and Portella, M. C. (2008). Effects of different dietary lipid sources on the survival, growth, and fatty acid composition of South American Catfish, *Pseudoplatystoma fasciatum* , Surubim, juveniles. Journal of the World Aquaculture Society, 39 (1) : 51-61.

Boonyaratpalin, M. and Phromkunthong, W. (2001). Bioavailability of ascorbyl phosphate calcium in hybrid catfish, *Clarias macrocephalus* (Gunther) × *Clarias gariepinus* (Burchell) feed. Aquaculture Research, 32 (1) : 126 – 134.

Catacutan, M.R. and Coloso, R.M. (1995). Effect of dietary protein to energy ratios on growth, survival, and body composition of juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*. Aquaculture 131 : 125-133.

Craig, S. T., Schwarz, M. H. and McLean, E. (2006). Juvenile cobia (*Rachycentron canadum)* can utilize a wide range of protein and lipid levels without impacts on production characteristics. Aquaculture 261(1) : 384-391.

Degani, G., Y. Ben-Zvi and D. Levanon. (1989). The effect of different protein levels and temperature on feed utilization, growth and body composition of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). Aquaculture 76 :293-301.

El-Sayed, A. M. (1999). Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis* spp. Aquaculture 179 : 149–168

Espinos, E.J., Tomas, A., Perez, L.M., Balasch, S. and Jover, M. (2003). Growth of dentex fingerlings (*Dentex dentex*) fed diets containing different levels of protein and lipid Aquaculture 218 : 479-490.

Giri, S.S., Sahoo, S.K., Sahu, A.K. and Meher, P.K. (2003). Effect of dietary protein level on growth, survival, feed utilisation and body composition of hybrid *Clarias* catfish (*Clarias batrachus* X *Clarias gariepinus*). Animal Feed Science and Technology. 104 : 169–178.

Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., Metailler, R. (1999). Nutrition and feeding of fish and crustaceans. Praxis Publishing, Chichester.

Halver, J. E. and Hardy, R. W. (2002). Fish Nutrition, 3rd edition. Academic Press, New York.

Hertrampt, J. W. and Piedad-Pascual, F. (2000). Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Jantrarotai, W., Jantrarotai, P., Sitasit P. and Viputhanumas, T. (1996). Comparison on the efficacy of different carbohydrates energy sources for hybrid Clarias catfish fingerlings (*Clarias macrochphalus* X *C. gariepinus*). Kasetsart Journal : Natural Science. 30(1) : 56-63.

Jantrorotai, W., Sitasit, P. and Rajchapakdee, S. (1994). The optimum carbohydrate to lipid ratio in hybrid catfish (*Clarias macrochphalus* X *C. gariepinus*) diets containing raw broken rice. Aquaculture 127(1) : 61-68.

Kim, L.O. and Lee , S.M. (2005). Effects of the dietary protein and lipid levels on growth and body composition of bagrid catfish, *Pseudobagrus fulvidraco*. Aquaculture 243 : 323-329.

Ng, W .K., Lim. P. K., Boey, P. L. (2003). Dietary lipid and palm oil source affects growth, fatty acid composition and muscle alpha-tocopherol concentration of African catfish *Clarias gariepinus*. Aquaculture 215 : 229-243.

NRC. (1981). Nutrient requirements of coldwater fishes. National academy of Science, Washington, DC.

Salhi, M., Bensonart, M., Chediak, G., Bellagamba, M. and Csrnevia, D. (2004). Growth, feed utilization and body composition of black catfish, *Rhamdia quelen*, fry fed diets containing different protein and energy levels. Aquaculture. 231: 435-444

Serrano, J.A., Nematipour, G.R. and Gatlin, III, D.M., (1992). Dietary protein requirement of red drum (*Sciaenops ocellatus*) and relative use of dietary carbohydrate and lipid. Aquaculture 101 : 283-291.

Tacon, A.G.J. (1996). Nutritional studies in crustaceans and the problems of applying research findings to practical farming systems. Aquaculture Nutrition 2:165-174.

Toko, I., Fiogbe, E. D., Koukpode, B. and Kestemont, P. (2007). Rearing of African catfish (*Clarias gariepinus*) and vundu catfish (*Heterobranchus longifilis*) in traditional fish ponds (whedos): Effect of stocking density on growth, production and body composition. Aquaculture 262 (1):65-72.

Van Weerd, J. H. V. (1995). Nutrition and growth in *Clarias* species - a review. Aquut. Living Resour., 8 : 395-401.

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1 : วิธีการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (crude fat) (ตามวิธีการของ AOAC, 1990)

การวิเคราะห์ปริมาณไขมันด้วยวิธีโดยตรง (direct extraction methods) เป็นวิธีการสกัดโดยตรงด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ โดยทั่วไปส่วนประกอบที่เป็นไขมันในอาหารเป็นสารประกอบสกัดออกได้ด้วยตัวทำละลายต่างๆ เช่น อีเทอร์ ปิโตรเลียมอีเทอร์ และไดเอทธิลอีเทอร์ ซึ่งเป็นสารละลายที่ไม่มีขั้ว (non polar solvent) สารสกัดที่ได้เราเรียกว่า crude fat ถ้าต้องการสารสกัดให้ได้ลิปิดทั้งหมดในอาหาร ต้องทำการไฮโดรไลส์ตัวอย่างอาหารด้วยกรด หรือด่างอ่อน พวกลิปิดที่รวมอยู่กับสารอื่น เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต จะถูกไฮโดรไลส์ได้เป็นลิปิดอิสระ ทำให้สกัดออกได้ง่าย

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ตู้อบลมร้อน
2. เครื่องสกัดไขมันแบบ soxhlet
3. ปิโตรเลียมอีเทอร์
4. ตัวอย่าง

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักของฟลาสต์สกัดไขมัน แล้วจดน้ำหนักที่แน่นอนไว้

2. ชั่งตัวอย่างอาหาร 3-5 กรัม (จดน้ำหนักที่แน่นอน) ห่อด้วยกระดาษกรอง whatman No. 1แล้วบรรจุห่อใส่ทิมเบิล (thimble)

3. จากนั้นนำทิมเบิลใส่ลงในsoxhlet เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงใน soxhlet จนกระทั่งล้นออกมาอยู่ในฟลาสต์สกัดไขมัน จึงเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ซ้ำลงใน soxhlet ให้มีปริมาตร ประมาณ 150 มล.

4. เปิดเครื่องสกัดไขมัน ตั้งอุณหภูมิให้เกิดการกลั่นของปิโตรเลียมอีเทอร์ 10-15 หยดต่อนาที ทำการสกัดประมาณ 8-12 ชั่วโมง

5. แยกเอาฟลาสต์ออกจากเครื่องสกัดแล้วใช้คีมคีบทิมเบิลที่ใส่ตัวอย่างอาหารออกจาก soxhlet

6. นำฟลาสต์ไประเหยเอาปิโตรเลียมอีเทอร์ออก แล้วอบที่อุณหภูม 100 องศาเซลเซียส จนกว่าตัวทำละลายจะระเหยหมด จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก

คำนวณหาปริมาณไขมัน

$$\% \text{ ไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักไขมัน (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างอาหาร (g)}} \times 100$$

ภาคผนวก 2 : วิธีการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (ตามวิธีการของ AOAC, 1990)

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น

2. สารเร่งรวม (catalyst mixture)

คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) 7 กรัม กับโปแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 100 กรัม ผสมให้เข้ากัน

3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 45% (NaOH)

ละลาย 450 กรัมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ชนิดเกล็ดลงในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร

4. สารละลายกรดเกลือ 0.1 นอร์มอล

ละลายกรดเกลือ 9 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

5. กรดบอริค (H_3BO_3) 4 %

ต้มน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตรให้ร้อนแล้วใส่ผงกรดบอริคลงไป 4 กรัม ต้มจนละลายหมด ทิ้งไว้จนสารละลายเย็นลงแล้วจึงเติมน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร

6. อินดิเคเตอร์ผสมระหว่าง เมทธิลเรด และเมทธิลีนบลู

ละลายเมทธิลเรด 0.2 กรัม ในแอลกอฮอล์ 95 % ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร และละลายเมทธิลีนบลู 0.2 กรัม ในแอลกอฮอล์ 95 % ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายเมทธิลเรด 2 ส่วน ผสมกับสารละลายเมทธิลีนบลู 1 ส่วน เขย่าให้เข้ากัน

7. เมทิลออเรนซ์ อินดิเคเตอร์ (methyl orange indicator)

ละลายเมทิลออเรนซ์ 0.1 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

8. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 0.1 นอร์มอล

อบโซเดียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 260 ถึง 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ชั่งสารมา 1.325 กรัม เติมน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร

วิธีการวิเคราะห์

1. ขั้นตอนการย่อย (digestion)

1.1 กรณีตัวอย่างมีโปรตีนสูงกว่า 30 % ชั่งตัวอย่างอาหารให้ได้น้ำหนักประมาณ 0.5 กรัม โดยชั่งด้วยกระดาษชั่งสารที่ไม่มีไนโตรเจนแล้วใส่ในขวดแก้ววิเคราะห์โปรตีน

1.2 เติมสารเร่งรวม 3 กรัม เพื่อเป็นตัวช่วยปฏิกิริยาการย่อย

1.3 เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร

1.4 นำไปย่อยด้วยชุดเครื่องย่อยโปรตีน ที่อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส กระทั่งสารละลายในขวดแก้ววิเคราะห์โปรตีนใส ทิ้งไว้ให้เย็น

2. ขั้นตอนการกลั่น (distillation)

2.1 เมื่อสารละลายเย็นดีแล้ว จึงเติมน้ำกลั่นลงไปให้ได้ปริมาตรประมาณ 20 มิลลิลิตร

2.2 ต่อขวดแก้ววิเคราะห์โปรตีนเข้ากับเครื่องกลั่นที่มีขวดปากแคบวัดปริมาตร ซึ่งมีกรดบอริค 40 มิลลิลิตรอยู่ โดยให้ปลายของหลอดแก้วที่ต่อจากกระบอกแก้วควบแน่นจุ่มอยู่ในกรดบอริค เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในขวดแก้ววิเคราะห์ช้า ๆ จนกระทั่งสารละลายมีสีดำ

2.3 ใส่อินดิเคเตอร์ในกรดบอริค 2 ถึง 3 หยด

2.4 ทำการกลั่นจนกระทั่งไม่มีแก๊สแอมโมเนียออกมาแล้วทำการกลั่นต่อไปอีก 5 นาที แล้วล้างปลายเครื่องกลั่นด้วยน้ำกลั่น นำขวดปากแคบวัดปริมาตรออกจากเครื่องกลั่น

3. ขั้นตอนการไตเตรท (titration)

3.1 นำไปไตเตรทด้วยเกลือมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น (0.1 นอร์มอล) จนถึงจุดยุติ (end point) โดยใช้อินดิเคเตอร์รวม สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินอ่อน

3.2 จดปริมาตรของเกลือไว้เพื่อคำนวณต่อไป

การคำนวณ

$$\% \text{ โปรตีน} = (1.4 \times (V_1 - V_2) \times N \times 6.25) / W$$

เมื่อ V_1 = ปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง

V_2 = ปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ใช้ไตเตรทตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบ

N = เป็นความเข้มข้นของกรดเกลือเป็นนอร์มอล

W = น้ำหนักตัวอย่างอาหาร

การตรวจหาความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือมาตรฐาน

ดูดสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 40 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร เติมเมทิลออเรนซ์ อินดิเคเตอร์ 2 ถึง 3 หยด ทำการไตเตรทด้วยสารละลายกรดเกลือ 0.1 นอร์มอล คำนวณความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือโดยใช้สูตร

$$N_1V_1 = N_2V_2$$

ภาคผนวก 3 : วิธีการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (ตามวิธีการของ AOAC, 1990)

1. นำถ้วยชั่งเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 110 ^{0} C เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น
2. ชั่งและบันทึกน้ำหนักของถ้วยชั่งโดยละเอียด
3. ใส่ตัวอย่างลงในถ้วยชั่งที่ทราบน้ำหนักแล้ว ประมาณ 5 กรัม บันทึกน้ำหนักโดยละเอียด
4. นำตัวอย่างเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 -110 ^{0} C เป็นเวลา 10-12 ชั่วโมง
5. นำตัวอย่างที่อบแล้วใส่โถดูดความชื้นทิ้งให้เย็น บันทึกน้ำหนักโดยละเอียดของตัวอย่าง
6. ทำซ้ำตามข้อ 4 – 5 จนกระทั่งน้ำหนักที่ชั่งได้คงที่ ดังนั้นน้ำหนักที่หายไปคือน้ำหนักของความชื้น

คำนวณ % ความชื้น ตามสมการ

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{(a - b)}{a} \times 100$$

a = น้ำหนักของอาหารก่อนอบแห้ง (g)

b = น้ำหนักของอาหารหลังอบแห้ง (g)

ภาคผนวก 4 : วิธีการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash) (ตามวิธีการของ AOAC, 1990)

1. ใช้ดินสอคาร์บอน (H หรือ HB) เขียนหมายเลขของถ้วยกระเบื้อง (crucible)
2. นำถ้วยกระเบื้องเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 110 ^{0} C เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น

3. ชั่งและบันทึกน้ำหนักของถ้วยโดยละเอียด
4. ใส่ตัวอย่างลงในถ้วยกระเบื้องที่ทราบน้ำหนักแล้วประมาณ 0.5-2 กรัม บันทึกน้ำหนักโดยละเอียด
5. ในกรณีที่ตัวอย่างมีความชื้นสูงต้องนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 - 110 ^{0} C จนแห้ง เพื่อป้องกันการปะทุในเตาเผา
6. นำตัวอย่างเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 -600 ^{0} C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
7. นำตัวอย่างที่เผาแล้วใส่โถดูดความชื้น ทิ้งให้เย็น บันทึกน้ำหนักโดยละเอียดของตัวอย่าง
8. น้ำหนักของวัสดุที่เหลืออยู่คือน้ำหนักของเถ้าที่มีในตัวอย่าง

คำนวณ % เถ้า ตามสมการ

$$\% \text{ เถ้า} = \frac{b}{a} \times 100$$

a = น้ำหนักของอาหารก่อนเผา (g)

b = น้ำหนักของอาหารหลังเผา (g)

ภาคผนวก 5 : ข้อมูลจากการทดลอง

ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลน้ำหนักปลา เริ่มต้นการทดลอง (การทดลองที่ 1)

	จน.ปลา (ตัว)	นน./ตู้	นน./ตัว	avg	SD
T1R1	15	87.4	5.83		
T1R2	15	87.4	5.83	**5.83**	**0.004**
T1R3	15	87.5	5.83		
T2R1	15	88.1	5.87		
T2R2	15	87.2	5.81	**5.83**	**0.039**
T2R3	15	87	5.8		
T3R1	15	87.8	5.85		
T3R2	15	87.9	5.86	**5.84**	**0.033**
T3R3	15	87.0	5.80		
T4R1	15	88.0	5.87		
T4R2	15	87.5	5.83	**5.83**	**0.033**
T4R3	15	87.0	5.80		
T5R1	15	87.4	5.83		
T5R2	15	87.0	5.80	**5.83**	**0.027**
T5R3	15	87.8	5.85		
T6R1	15	88.4	5.89		
T6R2	15	87.5	5.83	**5.84**	**0.044**
T6R3	15	87.1	5.81		
T7R1	15	87.5	5.83		
T7R2	15	87.2	5.81	**5.85**	**0.053**
T7R3	15	88.7	5.91		
T8R1	15	87.8	5.85		
T8R2	15	87.6	5.84	**5.83**	**0.024**
T8R3	15	87.1	5.81		
T9R1	15	88.3	5.89		
T9R2	15	87.0	5.80	**5.84**	**0.044**
T9R3	15	87.5	5.83		

ตารางผนวกที่ 2 ข้อมูลน้ำหนักปลา 2 สัปดาห์ของการทดลอง (การทดลองที่ 1)

	จน.ปลา	นน./ตู้	นน./ตัว	avg	SD
T1R1	15	264.2	17.61		
T1R2	15	272.8	18.19	**17.19**	**1.27**
T1R3	15	236.4	15.76		
T2R1	15	271.0	18.07		
T2R2	15	275.7	18.38	**18.09**	**0.27**
T2R3	15	267.5	17.83		
T3R1	15	270.6	18.04		
T3R2	15	268.3	17.89	**18.53**	**0.99**
T3R3	15	295.1	19.67		
T4R1	15	271.2	18.08		
T4R2	15	279.3	18.62	**17.72**	**1.12**
T4R3	15	247.1	16.47		
T5R1	15	290.5	19.37		
T5R2	15	276.0	18.40	**18.82**	**0.50**
T5R3	15	280.3	18.69		
T6R1	15	309.1	20.61		
T6R2	15	285.0	19.00	**19.39**	**1.07**
T6R3	15	278.5	18.57		
T7R1	15	292.8	19.52		
T7R2	15	267.8	17.85	**18.45**	**0.93**
T7R3	15	269.7	17.98		
T8R1	15	307.3	20.49		
T8R2	15	260.4	17.36	**19.33**	**1.72**
T8R3	15	302.3	20.15		
T9R1	15	290.2	19.35		
T9R2	15	295.2	19.68	**19.64**	**0.28**
T9R3	15	298.6	19.91		

ตารางผนวกที่ 3 ข้อมูลน้ำหนักปลา 4 สัปดาห์ของการทดลอง (การทดลองที่ 1)

	จน.ปลา (ตัว)	นน./ตู้	นน./ตัว	avg	SD
T1R1	15	582.5	38.83		
T1R2	15	594.7	39.65	**37.18**	**3.59**
T1R3	15	496.0	33.07		
T2R1	15	617.4	41.16		
T2R2	14	577.2	41.23	**40.92**	**0.48**
T2R3	15	605.6	40.37		
T3R1	15	629.2	41.95		
T3R2	15	598.0	39.87	**42.12**	**2.35**
T3R3	15	668.3	44.55		
T4R1	15	553.7	36.91		
T4R2	15	618.6	41.24	**38.02**	**2.84**
T4R3	15	538.4	35.89		
T5R1	15	636.5	42.43		
T5R2	15	588.7	39.25	**40.87**	**1.59**
T5R3	15	613.8	40.92		
T6R1	14	747.4	53.39		
T6R2	15	646.8	43.12	**45.07**	**7.53**
T6R3	15	580.5	38.70		
T7R1	15	652.8	43.52		
T7R2	15	620.7	41.38	**41.89**	**1.44**
T7R3	15	611.7	40.78		
T8R1	15	694.0	46.27		
T8R2	15	636.2	42.41	**45.88**	**3.29**
T8R3	15	734.5	48.97		
T9R1	15	623.8	41.59		
T9R2	15	716.7	47.78	**45.71**	**3.57**
T9R3	15	716.4	47.76		

ตารางผนวกที่ 4 ข้อมูลน้ำหนักปลา 6 สัปดาห์ของการทดลอง (การทดลองที่ 1)

	จน.ปลา (ตัว)	นน./ตู้	นน./ตัว	avg	SD
T1R1	15	1002.9	66.86		
T1R2	15	1140.5	76.03	**66.80**	**9.26**
T1R3	15	862.8	57.52		
T2R1	15	1090.7	72.71		
T2R2	14	1092.5	78.04	**70.70**	**8.52**
T2R3	10	613.5	61.35		
T3R1	15	1196.8	79.79		
T3R2	15	1164.5	77.63	**79.70**	**2.02**
T3R3	15	1225.2	81.68		
T4R1	15	1042.4	69.49		
T4R2	15	1195.1	79.67	**71.28**	**7.65**
T4R3	14	905.6	64.69		
T5R1	15	1250.2	83.35		
T5R2	15	1157.8	77.19	**79.62**	**3.28**
T5R3	15	1174.8	78.32		
T6R1	14	1379.0	98.50		
T6R2	15	1317.0	87.80	**83.75**	**17.15**
T6R3	14	909.1	64.94		
T7R1	15	1242.2	82.81		
T7R2	14	1152.3	82.31	**81.85**	**1.26**
T7R3	14	1126.0	80.43		
T8R1	15	1294.8	86.32		
T8R2	15	1248.0	83.20	**87.76**	**5.42**
T8R3	15	1406.2	93.75		
T9R1	15	1294.6	86.31		
T9R2	15	1413.9	94.26	**92.06**	**5.03**
T9R3	15	1434.4	95.63		

ตารางผนวกที่ 5 ข้อมูลน้ำหนักปลา เริ่มต้นการทดลอง (การทดลองที่ 2)

	จน.ปลา (ตัว)	นน./ตู้	นน./ตัว	avg	SD
T1R1	15	74.8	4.99		
T1R2	15	75.9	5.06	**5.03**	**0.04**
T1R3	15	75.6	5.04		
T2R1	15	75.1	5.01		
T2R2	15	75.5	5.03	**5.02**	**0.01**
T2R3	15	75.4	5.03		
T3R1	15	75.0	5.00		
T3R2	15	75.8	5.05	**5.03**	**0.03**
T3R3	15	75.4	5.03		
T4R1	15	75.2	5.01		
T4R2	15	75.5	5.03	**5.02**	**0.01**
T4R3	15	75.1	5.01		
T5R1	15	74.9	4.99		
T5R2	15	75.4	5.03	**5.02**	**0.02**
T5R3	15	75.6	5.04		
T6R1	15	75.6	5.04		
T6R2	15	75.5	5.03	**5.02**	**0.03**
T6R3	15	74.8	4.99		

ตารางผนวกที่ 6 ข้อมูลน้ำหนักปลา 2 สัปดาห์ของการทดลอง (การทดลองที่ 2)

	จน.ปลา (ตัว)	นน./ตู้	นน./ตัว	X	SD
T1R1	15	296.7	19.78		
T1R2	15	326.3	21.75	**21.48**	**1.59**
T1R3	15	343.8	22.92		
T2R1	15	296.7	19.78		
T2R2	15	239.9	15.99	**17.68**	**1.93**
T2R3	15	259.2	17.28		
T3R1	15	222.8	14.85		
T3R2	15	248.8	16.59	**16.27**	**1.29**
T3R3	15	260.5	17.37		
T4R1	15	270.9	18.06		
T4R2	15	309.8	20.65	**19.28**	**1.30**
T4R3	15	287	19.13		
T5R1	15	265.4	17.69		
T5R2	15	221.1	14.74	**16.89**	**1.88**
T5R3	15	273.4	18.23		
T6R1	15	177.3	11.82		
T6R2	15	225.7	15.05	**13.93**	**1.83**
T6R3	15	223.8	14.92		

ตารางผนวกที่ 7 ข้อมูลน้ำหนักปลา 4 สัปดาห์ของการทดลอง (การทดลองที่ 2)

	จน.ปลา (ตัว)	นน./ตู้	นน./ตัว	avg	SD
T1R1	15	927.1	61.81		
T1R2	15	974.4	64.96	**64.16**	**2.07**
T1R3	15	985.7	65.71		
T2R1	15	872.6	58.17		
T2R2	15	715.5	47.70	**53.05**	**5.24**
T2R3	15	799.2	53.28		
T3R1	15	589	39.27		
T3R2	15	729.7	48.65	**43.54**	**4.75**
T3R3	15	640.5	42.70		
T4R1	15	729.9	48.66		
T4R2	15	969.7	64.65	**56.19**	**8.03**
T4R3	15	829.1	55.27		
T5R1	15	777.9	51.86		
T5R2	15	485.5	32.37	**43.59**	**10.08**
T5R3	15	698.2	46.55		
T6R1	15	360.1	24.01		
T6R2	15	504.2	33.61	**29.08**	**4.83**
T6R3	15	444.4	29.63		

ตารางผนวกที่ 8 ข้อมูลน้ำหนักปลา 6 สัปดาห์ของการทดลอง (การทดลองที่ 2)

	จน.ปลา (ตัว)	นน./ตู้	นน./ตัว	avg	SD
T1R1	15	1752.4	116.83		
T1R2	15	1830.3	122.02	**119.79**	**2.67**
T1R3	15	1808	120.53		
T2R1	15	1655.4	110.36		
T2R2	15	1432.9	95.53	**102.39**	**7.48**
T2R3	15	1519.4	101.29		
T3R1	15	1092	72.80		
T3R2	15	1319.1	87.94	**78.81**	**8.04**
T3R3	15	1135.5	75.70		
T4R1	15	1425.3	95.02		
T4R2	15	1832.7	122.18	**109.19**	**13.62**
T4R3	15	1655.6	110.37		
T5R1	15	1483.4	98.89		
T5R2	15	892.5	59.50	**80.08**	**19.76**
T5R3	15	1227.6	81.84		
T6R1	15	624	41.60		
T6R2	15	803.7	53.58	**48.36**	**6.14**
T6R3	15	748.3	49.89		

ตารางผนวกที่ 9 ข้อมูลน้ำหนักปลา เริ่มต้นการทดลอง (การทดลองที่ 3)

	จำนวน (ตัว)	นน./ตู้	นน./ตัว	avg	SD
T1R1	15	128	8.53		
T1R2	15	127.3	8.49	**8.51**	**0.02**
T1R3	15	127.8	8.52		
T2R1	15	127.9	8.53		
T2R2	15	127.3	8.49	**8.52**	**0.03**
T2R3	15	128	8.53		
T3R1	15	127.6	8.51		
T3R2	15	127.6	8.51	**8.51**	**0.01**
T3R3	15	127.8	8.52		
T4R1	15	128	8.53		
T4R2	15	127.5	8.50	**8.51**	**0.02**
T4R3	15	127.3	8.49		

ตารางผนวกที่ 10 ข้อมูลน้ำหนักปลา 2 สัปดาห์ของการทดลอง (การทดลองที่ 3)

	จำนวน (ตัว)	นน./ตู้	นน./ตัว	avg	SD
T1R1	15	335.6	22.37		
T1R2	15	363.5	24.23	**23.00**	**1.07**
T1R3	15	335.8	22.39		
T2R1	15	374.6	24.97		
T2R2	15	319.5	21.30	**24.71**	**3.28**
T2R3	15	417.8	27.85		
T3R1	15	361.5	24.10		
T3R2	15	415.3	27.69	**26.99**	**2.62**
T3R3	15	437.9	29.19		
T4R1	15	375.4	25.03		
T4R2	15	370	24.67	**25.32**	**0.85**
T4R3	15	394.2	26.28		

ตารางผนวกที่ 11 ข้อมูลน้ำหนักปลา 4 สัปดาห์ของการทดลอง (การทดลองที่ 3)

	จำนวน (ตัว)	นน./ตู้	นน./ตัว	avg	SD
T1R1	15	868.4	57.89		
T1R2	15	859.6	57.31	**57.05**	**1.00**
T1R3	15	839.1	55.94		
T2R1	15	993	66.20		
T2R2	15	728.3	48.55	**61.80**	**11.69**
T2R3	15	1059.7	70.65		
T3R1	15	862.7	57.51		
T3R2	15	1037.9	69.19	**67.40**	**9.13**
T3R3	15	1132.6	75.51		
T4R1	15	876.7	58.45		
T4R2	14	892.8	63.77	**63.57**	**5.03**
T4R3	15	1027.5	68.50		

ตารางผนวกที่ 12 ข้อมูลน้ำหนักปลา 6 สัปดาห์ของการทดลอง (การทดลองที่ 3)

	จำนวน (ตัว)	นน./ตู้	นน./ตัว	avg	SD
T1R1	15	1344.7	89.65		
T1R2	15	1305	87.00	**87.92**	**1.50**
T1R3	15	1306.5	87.10		
T2R1	14	1384.7	98.91		
T2R2	13	982.5	75.58	**92.95**	**15.30**
T2R3	15	1565.7	104.38		
T3R1	15	1427.2	95.15		
T3R2	15	1655.3	110.35	**106.40**	**9.89**
T3R3	15	1705.7	113.71		
T4R1	15	1333.9	88.93		
T4R2	14	1441.5	102.96	**101.48**	**11.88**
T4R3	15	1688.2	112.55		

ตารางผนวกที่ 13 ข้อมูลน้ำหนักปลา เริ่มต้นการทดลอง (การทดลองที่ 4)

	จำนวน	นน./กระชัง	นน/ตัว	avg	SD
T1R1	100	717.2	7.172		
T1R2	100	756.8	7.568	**7.45**	**0.24**
T1R3	100	761.9	7.619		
T2R1	100	760.6	7.606		
T2R2	100	734.4	7.344	**7.39**	**0.20**
T2R3	100	721.1	7.211		

ตารางผนวกที่ 14 ข้อมูลน้ำหนักปลา 6 สัปดาห์ของการทดลอง (การทดลองที่ 4)

	จำนวน	นน./กระชัง	นน/ตัว	avg	SD
T1R1	78	11835.6	151.74		
T1R2	80	12140	151.75	**150.21**	**2.66**
T1R3	88	12948	147.14		
T2R1	86	13522.3	157.24		
T2R2	85	13445.7	158.18	**155.42**	**3.99**
T2R3	94	14179.6	150.85		