# ผลของระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันต่อการเจริญเติบโตของปลานิล

(*Oreochromis niloticus* Linn.)

Effects of palm kernel cake levels on growth performance of Nile tilapia

(*Oreochromis niloticus* Linn.)

นิรุทธิ์ สุขเกษม

Nirut Sukkasame

เลขหมู่ SH167.T5A N6A 2544 c.2
Bib Key 210601
4 ธ.ค. 2544

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวารีชศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Aquatic Science

Prince of Songkla University

2544

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันต่อการเจริญเติบโตของปลานิล (*Oreochormis niloticus* Linn.)

ผู้เขียน นายนิรุทธิ์ สุขเกษม

สาขาวิชา วาริชศาสตร์

---

| คณะกรรมการที่ปรึกษา | คณะกรรมการสอบ |
|---|---|
| .....ประธานกรรมการ | .....ประธานกรรมการ |
| (รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิพร พรหมขุนทอง) | (รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิพร พรหมขุนทอง) |
| .....กรรมการ | .....กรรมการ |
| (รองศาสตราจารย์ ดร. กิจการ ศุภมาตย์) | (รองศาสตราจารย์ ดร. กิจการ ศุภมาตย์) |
| | .....กรรมการ |
| | (ดร. วิไลวรรณ เจริญคุณานนท์) |
| | .....กรรมการ |
| | (ดร. วิสุทธิ์ วีระกุลพิริยะ) |

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิติ ทฤษฎิคุณ )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ฉลาดชาย รมิตานนท์ อรรถกระวีสุนทร
บัณฑิตวิทยาลัย มอ.
ได้รับแล้ว
วันที่ 4 มิ.ย. 2544

| | |
|---|---|
| **ชื่อวิทยานิพนธ์** | ผลของระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันต่อการเจริญเติบโตของปลานิล (*Oreochromis niloticus* Linn.) |
| **ผู้เขียน** | นายนิรุทธิ์ สุขเกษม |
| **สาขาวิชา** | วาริชศาสตร์ |
| **ปีการศึกษา** | 2543 |

## บทคัดย่อ

ทำการศึกษาผลของระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่เสริมในอาหารเลี้ยงปลานิลเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต โดยผลิตอาหารที่มีโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ เท่ากันทุกสูตร แต่มีระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันต่างกัน 3 ระดับคือ 0, 15 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแต่ละระดับจะมีค่าพลังงานที่ย่อยได้ 3,300, 3,600 และ 3,900 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นำไปทดลองเลี้ยงปลานิลเพศผู้สายพันธุ์จิตรลดา 2 (GMT) น้ำหนักเฉลี่ย 2.25 กรัม เป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต อัตรารอด การเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ เช่นเดียวกับการเพิ่มระดับพลังงานก็ไม่ส่งผลทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิของปลานิลมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ที่ระดับพลังงาน 3,300 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัมปลานิลมีการเจริญเติบดีที่สุดเมื่อเทียบกับที่ระดับพลังงาน 3,600 และ 3,900 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม ($p<0.05$) โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ในช่วง 31.78–34.87 กรัมต่อตัว และพบว่าปลานิลมีความสามารถในการย่อยอาหารสูตรที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นส่วนประกอบได้ต่ำกว่าสูตรอาหารที่ไม่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ส่วนประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารทุกสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 83.56-85.52 เปอร์เซ็นต์ แต่ประสิทธิภาพการย่อยไขมันเพิ่มขึ้นเมื่ออาหารมีระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันสูงขึ้น ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันแตกต่างกันมีองค์ประกอบของโปรตีนและไขมันในตัวไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่เมื่อเพิ่มระดับพลังงานในอาหารสูงขึ้นพบว่าไขมันในตัวปลามีแนวโน้มที่สูงขึ้นด้วย ในขณะที่องค์ประกอบโปรตีนในตัวปลามีค่าลดลง ($p<0.05$) สำหรับองค์ประกอบเลือดและดัชนีตับต่อตัวพบว่าอาหารที่มีระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและระดับพลังงานแตกต่างกันทุกระดับไม่ส่งผลให้ ระดับของฮีมาโตคริต ระดับของฮีโมโกลบิน ระดับพลาสมาโปรตีน และดัชนีตับต่อตัวของปลานิลต่างกัน ($p>0.05$) เช่นเดียวกับผลการศึกษาเนื้อเยื่อวิทยาของตับที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพ แสดงว่าระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน

และระดับพลังงานไม่มีผลต่อสภาวะทางสรีระวิทยาของตัวปลา จากการศึกษาครั้งนี้ไม่พบว่ามีผลของปฏิกิริยาร่วมระหว่างระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันกับระดับพลังงานในอาหาร ต่อการเจริญเติบโตของปลานิล นอกจากนั้นยังพบว่าการเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในสูตรอาหารทำให้ราคาอาหารถูกลง โดยสูตรอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 30 เปอร์เซ็นต์ และมีพลังงาน 3,300 กิโลคาลอรี มีต้นทุนการผลิตปลาต่ำที่สุด คือ 17.33 บาทต่อกิโลกรัม

การศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบว่า การเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ในอาหารที่มีระดับพลังงานไม่เกิน 3,600 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม เป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับเลี้ยงปลานิล ทั้งในด้านการเจริญเติบโต และด้านเศรษฐศาสตร์

| | |
|---|---|
| **Thesis Title** | Effects of palm kernel cake levels on growth performance of Nile tilapia(*Oreochromis niloticus* Linn.) |
| **Author** | Mr. Nirut Sukkasame |
| **Major Program** | Aquatic Science |
| **Academic Year** | 2000 |


## Abstract

A nutrition study was carried out by supplementation of palm kernel cake in tilapia feed to explore the possibility of feed cost reduction. The feeds tested contained 30% protein with varying levels, i.e. 0, 15 and 30% palm kernel cake which carried digestible energy of 3,300, 3,600 and 3,900 kcal/kg feed, respectively. The feeds were given for ten weeks to Chitladda 2 male tilapia (GMT) with initial average weight 2.25 g. It was noted that the levels of palm kernel cake has no effects on growth, survival, feed conversion ratio, protein efficiency ratio and net protein utilization. Also noted was that an increase in energy level caused no effects on feed conversion ratio, protein efficiency utilization. The net protein utilization, however, showed difference statistically ($p>0.05$). The best growth performance was achieved in the tilapia, average weight 31.78-34.87 g, given the feed with 3,300 kcal/kg feed ($p<0.05$). A 15% drop of the digestibility was noted when the feed was supplemented with palm kernel cake whereas the efficiency of protein digestibility were similar for all the feed formulae (83.56-85.52%). The efficiency of fat digestibility, however, increased with an increase the levels of supplemented palm kernel cake. The analysis of whole body composition for protein and fat contents showed no differences caused by the supplementation of palm kernel cake in their feeds ($p>0.05$). However, it was noted that the fat contents in the fish showed a trend of increase with an increase in the energy level of the feed while the protein levels decreased ($p<0.05$). There were no differences in the blood composition, i. e. hematocrit, hemoglobin, plasma protein and hepatic index when the feed contained palm kernel cake with varying energy levels ($p>0.05$). There were no histological changes of the livers which suggested that the supplementation of palm kernel cake with varying energy levels had no effects on tilapia physiology. There were no effects from interaction between the supplemented palm kernel cake and varying energy levels on tilapia growth performance. Additionally, the supplementation of palm kernel cake in tilapia feed could reduce the feed cost leading to the production cost as low as 17.323 baht/kg fish which was achieved using the feed containing 30 % palm kernel cake with 3,300 kcal/kg feed. The current study showed that the supplementation of 30% palm kernel cake with energy level not exceeding 3,600 kcal/kg feed was optimum for tilapia feed taking into account the weight increase an economic returns.

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้โดยได้รับความช่วยเหลือเกื้อกูลจากบุคคลหลายฝ่าย บุคคลเหล่านั้นล้วนเป็นกัลยาณมิตรที่ควรค่าแก่การกล่าวถึงด้วยความรู้สึกขอบคุณและยกย่องไว้ ณ ที่นี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิพร พรหมขุนทอง ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำในระหว่างการทดลองวิจัยและแก้ไขข้อบกพร่องในการเขียนวิทยานิพนธ์ตลอดมา ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. กิจการ ศุภมาตย์ กรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาชี้แนะแนวทาง และแก้ปัญหาในการทำการวิจัย ขอขอบพระคุณ ดร. วิไลวรรณ เจริญคุณานนท์ กรรมการผู้แทนภาควิชาวาริชศาสตร์ และดร. วิสุทธิ์ วีระกุล พิริยะ กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำ และปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยสุขภาพสัตว์น้ำ คณะทรัพยากรธรรมชาติ ที่ได้อนุเคราะห์อุปกรณ์ และเครื่องมือในการทำวิจัย ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์และอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต รวมทั้งโครงการพวส. สภาสถาบันราชภัฏ ที่ให้ทุนการศึกษา

แม้จะมีความพร้อมด้านอื่น ๆ งานวิจัยครั้งนี้คงไม่สามารถทำให้สำเร็จลุล่วงได้ หากขาดการสนับสนุนจาก คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวาริชศาสตร์ เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยสุขภาพสัตว์น้ำ คุณรังสัญ รักกมล ที่ช่วยเหลือในการศึกษาด้านเนื้อเยื่อวิทยา คุณสุภฎา ดีรีรัฐนิคม ที่ได้แนะนำเทคนิคในการทำวิจัย รวมถึงนักศึกษาปริญญาโท และปริญญาตรี ภาควิชาวาริชศาสตร์ และอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวนาม จึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณ สถาบันครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุนในการทำวิจัยมาโดยตลอด

นิรุทธิ์ สุขเกษม

# สารบาญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อ | (3) |
| Abstract | (5) |
| กิตติกรรมประกาศ | (6) |
| สารบาญ | (7) |
| รายการตาราง | (9) |
| รายการตารางผนวก | (11) |
| รายการภาพ | (12) |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ | 1 |
| บทนำต้นเรื่อง | 1 |
| การตรวจเอกสาร | 3 |
| 1. ปาล์มน้ำมัน | 3 |
| 2. กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม | 4 |
| 3. ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของกากเมล็ดเนื้อในปาล์มน้ำมัน | 6 |
| 4. ปลานิล | 9 |
| ชีววิทยาของปลานิล | 9 |
| สถานการณ์การเพาะเลี้ยงและการตลาดปลานิล | 14 |
| ความต้องการสารอาหารของปลานิล | 15 |
| 5. การทดแทนโปรตีนด้วยคาร์โบไฮเดรต | 20 |
| 6. โปรตีนทดแทน | 24 |
| 7. ประสิทธิภาพการย่อยอาหาร | 31 |
| วัตถุประสงค์ | 34 |
| 2. วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการ | 35 |
| วัสดุ | 35 |
| อุปกรณ์ | 36 |

สารบาญ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| วิธีการ | 38 |
| แผนการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล | 42 |
| การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล | 43 |
| 3. ผลการทดลอง | 48 |
| 1. ส่วนประกอบทางโภชนาการของอาหารทดลอง | 48 |
| 2. ความผิดปกติและพฤติกรรมของปลานิลที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ | 50 |
| 3. การเจริญเติบโต และอัตรารอด | 50 |
| 4. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ | 56 |
| 6. ประสิทธิภาพการย่อยอาหารทดลองของปลานิล | 57 |
| 7. ส่วนประกอบทางโภชนาการของปลาทั้งตัว และเนื้อปลา | 58 |
| 8. องค์ประกอบเลือด และดัชนีตับต่อตัว | 61 |
| 8. การศึกษาทางเนื้อเยื่อวิทยาของตับปลานิล | 62 |
| 9. ราคาอาหารและต้นทุนการผลิต | 64 |
| 10. คุณภาพน้ำ | 65 |
| 4. วิจารณ์ผลการทดลอง | 67 |
| 5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ | 73 |
| เอกสารอ้างอิง | 75 |
| ภาคผนวก ก | 88 |
| ภาคผนวก ข | 101 |
| ประวัติผู้เขียน | 108 |

## รายการตาราง


| ตารางที่ | หน้า |
|---|---|
| 1. ปาล์มน้ำมัน: เนื้อที่ ผลผลิต ผลผลิตต่อไร่ | 4 |
| 2. องค์ประกอบทางเคมีของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน | 7 |
| 3. องค์ประกอบของกรดอะมิโนในกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน | 8 |
| 4. ความต้องการโปรตีนโดยประมาณในอาหารปลานิล | 16 |
| 5. กรดอะมิโนที่จำเป็นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักอาหารแห้งที่ใช้ทดลองเลี้ยงปลานิล | 17 |
| 6. ระดับพลังงานและระดับโปรตีนในอาหารทดลองของปลานิลชนิดต่างๆ และขนาดต่างๆ | 18 |
| 7. ชนิดและผลของวัตถุดิบทดแทนโปรตีนต่ออัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพของการใช้อาหารของปลานิล | 29 |
| 8. ประสิทธิภาพการย่อย (apparent digestibility) โปรตีนและไขมันของปลาเมื่อใช้การเก็บรวบรวมมูลปลาด้วยวิธีต่างๆ | 33 |
| 9. ส่วนประกอบทางโภชนาการของวัสดุอาหาร โดยการวิเคราะห์ | 40 |
| 10. ส่วนประกอบของอาหารทดลองแต่ละสูตร | 41 |
| 11. ส่วนประกอบทางโภชนาการของอาหารทดลองที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและระดับพลังงานต่างๆ โดยการวิเคราะห์ | 49 |
| 12. การเจริญเติบโตของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ | 52 |
| 13. น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตรารอดตาย ของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ | 55 |
| 14. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ | 56 |

## รายการตาราง (ต่อ)


| ตารางที่ | หน้า |
|---|---|
| 15. ประสิทธิภาพการย่อยอาหาร ของปลานิลที่ได้รับอาหาร ที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ | 58 |
| 16. ส่วนประกอบทางโภชนาการ ของซากปลานิลที่ได้รับอาหาร ที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ | 59 |
| 17. ส่วนประกอบทางโภชนาการ ของเนื้อปลานิลที่ได้รับอาหาร ที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ | 60 |
| 18. องค์ประกอบเลือด และดัชนีตับต่อตัวของปลานิลที่ได้รับอาหาร ที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ | 61 |
| 19. ราคาอาหารและต้นทุนค่าอาหารต่อหน่วยการผลิตปลานิล ที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ | 65 |
| 20. คุณภาพน้ำตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์ | 66 |

## รายการตารางผนวก


ตารางผนวก ข ที่ หน้า

1. น้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และอัตรารอดตาย ของปลาที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ 101
2. น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ 102
3. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ 103
4. ส่วนประกอบทางโภชนาการของซากปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆเป็นเวลา 10 สัปดาห์ 104
5. ส่วนประกอบทางโภชนาการของเนื้อปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆเป็นเวลา 10 สัปดาห์ 105
6. ประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ 106
7. ราคาค่าอาหารและต้นทุนค่าอาหารต่อหน่วยการผลิตปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ 107

# รายการภาพ


| ภาพที่ | หน้า |
|---|---|
| 1. ปริมาณโดยประมาณของผลผลิตและผลพลอยได้จากการสกัดผลปาล์มน้ำมัน | 5 |
| 2. แผนผังแสดงการผลิตปลานิลซูเปอร์เมลและปลานิลเพศผู้ GMT | 13 |
| 3. การเจริญเติบโตของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเมล็ดเนื้อในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ | 53 |
| 4. เนื้อเยื่อตับปกติของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีพลังงาน 3,300 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม ทุกๆระดับกากเมล็ดเนื้อในปาล์มน้ำมัน (H&E, Bar = 50μm) | 62 |
| 5. เนื้อเยื่อตับปกติของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีพลังงาน 3,600 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม ทุกๆระดับกากเมล็ดเนื้อในปาล์มน้ำมัน (H&E, Bar = 50μm) | 63 |
| 6. การเกิดช่องว่างในเนื้อเยื่อตับของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีพลังงาน 3,900 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม ทุกๆระดับกากเมล็ดเนื้อในปาล์มน้ำมัน (H&E, Bar = 50μm) | 63 |

# บทที่ 1

# บทนำ

## บทนำต้นเรื่อง

เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกส่งผลให้ความต้องการอาหารโปรตีนเพิ่มมากขึ้น สัตว์น้ำเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่ดีของมนุษย์ การลดลงของทรัพยากรสัตว์น้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติทำให้มีการพัฒนาและการขยายตัวของอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วทุกภูมิภาคของโลก ปริมาณของผลผลิตสัตว์น้ำของโลกในปี พ.ศ. 2533 มีปริมาณ 15.3 ล้านตัน ร้อยละ 84 ของผลผลิตทั้งหมดมาจากเอเชีย การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในเอเชียมีการขยายตัวร้อยละ 7.3 ต่อปี และมีการประมาณการผลิตของภูมิภาคนี้ว่าในปี พ.ศ. 2543 จะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ความต้องการของอาหารสัตว์น้ำเพิ่มขึ้นเช่นกัน ประมาณการว่าในปี พ.ศ. 2543 จะมีความต้องการเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2533 ร้อยละ 68 คือจาก 1 ล้านตันเป็น 2.6 ล้านตัน (FAO, 1994)

ปลาป่นเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนหลักในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำ เนื่องจากเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี และมีรสชาติที่ปลาชอบ ผลผลิตจากปลาป่นของโลกร้อยละ 12 หรือประมาณ 62 ล้านตัน ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์น้ำโดยความต้องการเพิ่มมากขึ้นทุกปี ในขณะที่ปริมาณปลาป่นที่ผลิตได้ทั่วโลกมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการลดลงของปลาในแหล่งน้ำธรรมชาติส่งผลให้ปลาป่นมีแนวโน้มหาได้ยากและมีราคาสูงขึ้น ด้วยเหตุดังกล่าวนี้ จึงเป็นเหตุให้นักวิจัยอาหารสัตว์น้ำหันมาศึกษาและพยายามที่จะนำแหล่งโปรตีนอื่นที่หาได้ง่ายและราคาถูกกว่ามาใช้ เช่นการใช้โปรตีนจากพืชในปลานิล (tilapia, *Oreochromis niloticus*) (Shiau *et al.*, 1987, 1988, 1990) ปลาไน (common carp, *Cyprinus carpio*) (Wee and Shu, 1989) ปลานวลจันทร์ทะเล (milkfish, *Chanos chanos*) (Lovell, 1991) ปลาเรนโบว์เทราท์ (rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*) (Pongmaneerat, 1992) ปลากดอเมริกัน (channel catfish, *Ictalurus punctatus*) (Robinson and Li, 1994) เป็นต้น ถึงแม้ว่าวัตถุดิบพืชจะเป็นแหล่งโปรตีนที่มีราคาถูก และหาได้ง่ายกว่าวัตถุดิบสัตว์ แต่การนำวัตถุดิบพืชมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นบางส่วนหรือทั้งหมดในสูตรอาหารพบว่าสัตว์น้ำแต่ละชนิดมีความสามารถในการใช้ประโยชน์โปรตีนจากวัตถุดิบพืชได้แตกต่างกัน

ขึ้นอยู่กับคุณค่าทางอาหาร และสารต้านโภชนาการ (anti-nutritional factor) ที่มีในวัตถุดิบพืชแต่ละชนิด

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญและปลูกกันมากทางภาคใต้ของประเทศไทย โดยมีการขยายตัวเชิงอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว ในปี พ.ศ. 2540 ผลผลิตปาล์มน้ำมันทั้งทะลายเท่ากับ 2,680,342 ตัน (สุดารัตน์, 2540) ซึ่งในอุตสาหกรรมสกัด (หีบ) ปาล์มน้ำมัน ได้กากปาล์มน้ำมัน (oil palm meal) และกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน (palm kernel meal : PKM หรือ palm kernel cake : PKC) ซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือหรือผลพลอยได้ที่มีคุณค่าทางโภชนะสูงพอสมควร หาได้ง่าย และมีราคาถูก สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำได้ นับว่าเป็นทางเลือกใหม่ที่อาจจะช่วยลดต้นทุนในการเลี้ยงสัตว์น้ำ

ปลานิลเข้ามามีบทบาทในการแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารโปรตีนสำหรับบริโภคของประชาชน และเป็นปลาน้ำจืดที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายทั้งเกษตรกรผู้เลี้ยงปลา ผู้บริโภคในประเทศและต่างประเทศในภาคพื้นเอเชีย และสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะผู้เลี้ยงปลา นิยมเลี้ยงปลานิล เนื่องจากเป็นปลาที่เจริญเติบโตเร็ว แข็งแรง อดทน ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ ผลผลิตปลานิลในปี พ.ศ. 2538 ทั้งจากการเพาะเลี้ยงและจากการจับจากธรรมชาติ มีปริมาณ 131,800 ตัน เป็นผลผลิตจากการเพาะเลี้ยง 76,000 ตัน (กรมประมง, 2540) และในปี พ.ศ. 2539 ผลผลิตสัตว์น้ำตระกูลปลานิลจากธรรมชาติและการเพาะเลี้ยงทั่วโลกมีจำนวน 1,265,600 ตัน ซึ่งเป็นผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงมากกว่า 800,800 ตัน และคาดว่ายังคงขยายตัวในปีต่อๆไป โดยเอเชียเป็นแหล่งผลิตที่สำคัญ กล่าวคือ ในปี พ.ศ. 2539 มีผลผลิตประมาณ 700,400 ตัน เป็นผลผลิตจากประเทศจีนร้อยละ 56.3 รองลงมาได้แก่ อินโดนีเซีย ไทย ฟิลิปปินส์ และไต้หวัน โดยประเทศที่มีการส่งออกปลานิลมากได้แก่ ไต้หวัน ไทย และอินโดนีเซีย ตลาดที่สำคัญของการส่งออกปลานิลได้แก่ สหรัฐอเมริกา และอังกฤษ ตลาดสัตว์น้ำในตระกูลปลานิลในสหรัฐอเมริกากำลังพัฒนาอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าปลานิลมีสีของเนื้อปลาค่อนข้างขาว สามารถแล่เนื้อได้ง่าย มีก้างน้อย ไม่มีกลิ่น มีรสชาติอ่อนๆ สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายอย่าง และอาจใช้แทนปลาเนื้อขาวอย่างอื่นได้ดี ส่วนตลาดในยุโรปเป็นตลาดค่อนข้างเล็ก ปริมาณการค้าไม่มากนัก (เครือวัลย์, 2542) ดังนั้นกรมประมงจึงกำหนดเป็นนโยบายให้ปลานิลเป็นปลาเศรษฐกิจตัวหนึ่งในการส่งเสริมการเลี้ยงปลาน้ำจืดเพื่อการส่งออก ในปัจจุบันเกษตรกรจึงหันมาเลี้ยงปลาชนิดนี้มากขึ้นตามลำดับ (กรมประมง, 2541) แม้ว่าปลานิลเป็นปลาเศรษฐกิจที่น่าสนใจและมีศักยภาพเพียงพอสำหรับการเพาะเลี้ยงเชิงอุตสาหกรรม แต่ก็เป็นปลาที่สามารถพัฒนาการผลิตได้ไม่จำกัด ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการ

แข่งขันกันในด้านปริมาณและราคา จึงได้มีการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวางในหลายๆ ด้าน เพื่อผลิตอาหารให้ได้สารอาหารเฉพาะสำหรับปลานิลโดยมีราคาต่ำที่สุด แต่ไม่ทำให้อัตราการเจริญเติบโตและคุณภาพซากลดลง เช่นการนำเอาวัตถุดิบเหลือใช้หรือผลพลอยได้จากพืชและสัตว์ ซึ่งหาได้ง่ายและมีราคาถูกมาใช้เป็นวัตถุดิบ ดังนั้นการนำเอาวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีแพร่หลายในท้องถิ่นภาคใต้คือกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน มาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตอาหารปลานิลจึงเป็นแนวทางของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และคาดว่าผลการศึกษาวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานของการพัฒนาอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงปลานิลของประเทศไทยต่อไป

## ตรวจเอกสาร

### 1. ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตระกูลปาล์ม เช่นเดียวกับ มะพร้าว ตาล และจาก มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Elaeis guineensis* Jacq. มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา อเมริกากลาง และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีการนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยครั้งแรก หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ที่จังหวัดสงขลา และมีการปลูกเชิงเศรษฐกิจครั้งแรก ในปี พ.ศ. 2511 ที่จังหวัดกระบี่และสตูล โดยนำพันธุ์มาจากประเทศมาเลเซีย ต่อมาได้มีการปลูกกันอย่างแพร่หลายในอีกหลายจังหวัด โดยในปี พ.ศ. 2530 จังหวัดที่มีการปลูกปาล์มน้ำมันมากได้แก่ กระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูล และตรัง ตามลำดับ มีพื้นที่ปลูกทั้งหมดประมาณร้อยละ 95.46 ของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งประเทศ ในปี พ.ศ. 2531 ผลผลิตปาล์มน้ำมันทั้งทะลายเท่ากับ 885,000 ตัน และในปี พ.ศ. 2540 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งสิ้น ประมาณ 1,096,615 ไร่ โดยมีผลผลิตรวม 2,680,342 ตัน (สุดารัตน์, 2540) (ตาราง 1) ความต้องการน้ำมันปาล์มดิบของโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มและอุตสาหกรรมอื่นๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจและประชากร นอกจากนั้นน้ำมันปาล์มยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ได้อย่างกว้างขวาง อีกทั้งเป็นพืชยืนต้นที่ให้น้ำมันสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ (ชัยรัตน์, 2538) จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นในแผนพัฒนา ฯ ฉบับที่ 8 (2540-2544) จึงกำหนดแผนพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมันโดยให้มีการเพิ่มพื้นที่การผลิตให้เหมาะสม โดยกำหนดให้เมื่อสิ้นปี พ.ศ. 2544 ควรมีพื้นที่ปลูก 2 ล้านไร่ มีผลผลิตปาล์มสด 5 ล้านตันและสกัดเป็นน้ำมันดิบได้ 0.9 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจ

การเกษตร, 2540) ส่งผลให้วัสดุเศษเหลือหรือผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 1 ปาล์มน้ำมัน: เนื้อที่ ผลผลิต ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ ปีเพาะปลูก พ.ศ. 2531 – 2541

| ปี พ.ศ. | พื้นที่ปลูก (พันไร่) | เนื้อที่ให้ผลผลิต (พันไร่) | ผลผลิต (พันตัน) | ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ (กิโลกรัม) |
|---|---|---|---|---|
| 2531 | 682 | 517 | 885 | 1,711 |
| 2532 | 804 | 568 | 1,098 | 1,933 |
| 2533 | 875 | 600 | 1,192 | 1,986 |
| 2534 | 915 | 645 | 1,316 | 2,040 |
| 2535 | 958 | 675 | 1,352 | 2,002 |
| 2536 | 568 | 833 | 1,827 | 2,193 |
| 2537 | 1,014 | 870 | 1,923 | 2,210 |
| 2538 | 1,051 | 919 | 2,255 | 2,455 |
| 2539 | - | 1,023 | 2,688 | 2,628 |
| 2540 | - | 1,097 | 2,681 | 2,445 |
| 2541 | - | 1,128 | 2,464 | 2,185 |

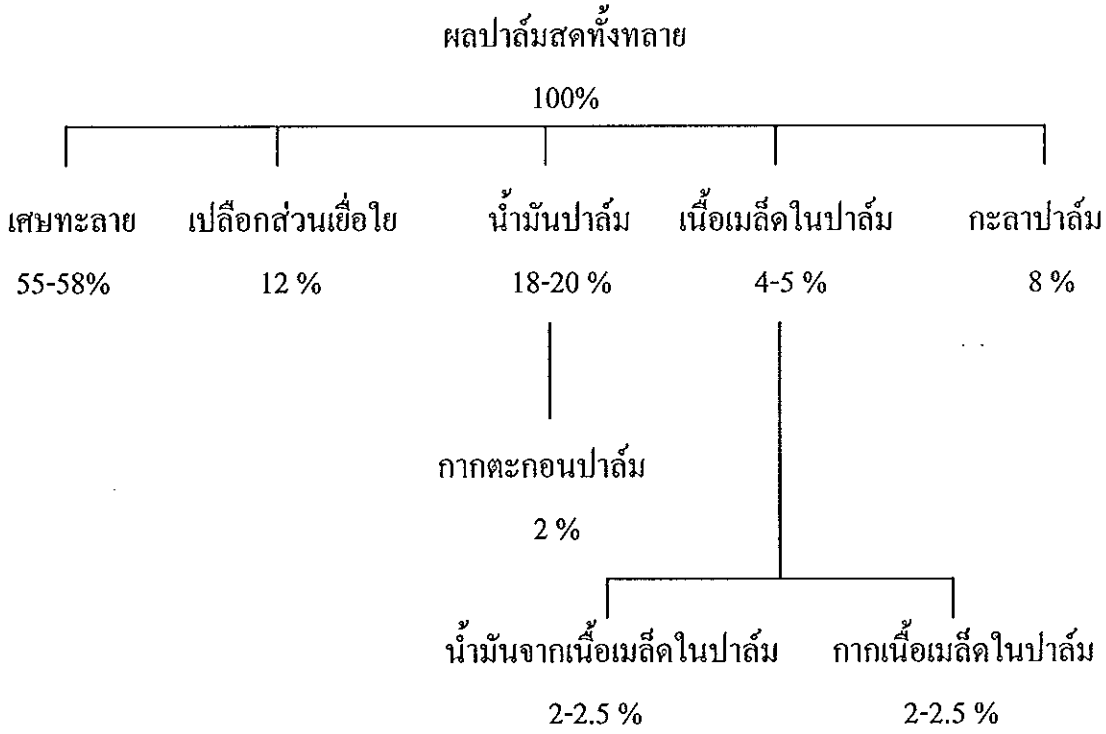
หมายเหตุ – ไม่มีข้อมูล

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2541)

**2. กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม**

ทะลายปาล์มสด (fresh fruit bunch) เป็นผลผลิตจากต้นปาล์มซึ่งประกอบด้วยทะลาย (bunch) และผลปาล์ม (fruit) ภายในผลจะประกอบด้วยส่วนของชั้นเปลือก (mesocarp) และจากชั้นเปลือกจะมีกะลา (shell) หุ้มเมล็ดในอยู่ ทะลายปาล์มสดจะถูกส่งเข้าสู่โรงงานผ่านกระบวนการสกัดน้ำมันซึ่งจะมีผลผลิตและผลพลอยได้ พอสรุปได้ดังนี้ (ภาพที่ 1)

1. ทะลายปาล์มสดถูกส่งเข้าไปอบยังหม้อไอน้ำ (sterilizer) ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความดัน 3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 75 – 90 นาที เพื่อแยกผลปาล์มออกจากทะลาย
2. ผลของปาล์มน้ำมันจะถูกบีบด้วยเครื่องบีบเกลียวอัด ภายใต้สภาพที่เป็นความดันร้อน ในระยะนี้จะมีเมล็ดใน เปลือก และน้ำมันปาล์มดิบ (จากเปลือก) เกิดขึ้น
3. เมล็ดในจะถูกส่งเข้าเครื่องกะเทาะเมล็ดเพื่อแยกชั้นกะลาออกจากเนื้อใน
4. เนื้อเมล็ดในปาล์มจะถูกส่งไปยังเครื่องทำให้เนื้อแห้งแล้วหลังจากนั้นจะถูกส่งไปเก็บ




ภาพที่ 1 ปริมาณโดยประมาณของผลผลิตและผลพลอยได้จากการสกัดผลปาล์มน้ำมัน
ที่มา : Devendra (1977)

ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันที่ได้จากการหีบผลปาล์มเพื่อเอาน้ำมันนับวันจะมีปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะผลผลิตปาล์มน้ำมันที่เพิ่มขึ้นทุกปี กากปาล์มน้ำมัน และกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือหรือผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมสกัดปาล์มน้ำมันที่มีคุณค่าทางโภชนะสูงพอสมควร หาได้ง่าย และมีราคาถูก ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำได้ นับว่าเป็นทางเลือกใหม่ที่อาจจะช่วยลดต้นทุนในการเลี้ยงสัตว์น้ำ

**3. ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน**

กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน เป็นกากที่ได้จากการเอาเมล็ดปาล์มที่กระเทาะเอากะลาออกไปแล้วมาอัดน้ำมัน กากที่ได้จึงควรมีแต่เนื้อเมล็ดในปาล์ม แต่โรงงานที่ผลิตได้ในประเทศไทยยังไม่สามารถแยกกะลาออกได้หมด ส่วนประกอบทางเคมีของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มจึงมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวิธีการหีบน้ำมัน และวัตถุดิบ (สายพันธุ์ปาล์ม) ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน (บนฐานของวัตถุแห้ง: on dry matter basis )

| รูปแบบของการสกัดน้ำมัน | วัตถุแห้ง (%) | โปรตีน (%) | ไขมัน (%) | ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก (%) | เยื่อใย (%) | เถ้า (%) | ธาตุแคลเซียม | ธาตุฟอสฟอรัส | พลังงานรวม (กิโลคาลอรี/กิโลกรัม) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| หีบด้วยเกลียวอัด[1] | 90.20 | 16.63 | 14.55 | 49.03 | 14.97 | 4.82 | 0.31 | 0.28 | - |
| หีบด้วยเกลียวอัด[2] | 93.89 | 13.51 | 16.16 | 52.11 | 15.11 | 3.11 | 0.20 | 0.70 | 5,584 |
| หีบด้วยเกลียวอัด[3] | 91.90 | 11.75 | 11.21 | 44.33 | 29.65 | 3.06 | 0.19 | 0.44 | - |
| หีบด้วยเกลียวอัด[4] | 93.89 | 13.78 | 16.72 | 51.29 | 15.11 | 3.10 | 0.18 | 0.69 | 5,485 |
| หีบด้วยเกลียวอัด[5] | 94.85 | 14.11 | 23.77 | 42.68 | 16.22 | 3.22 | 0.22 | 0.56 | 5,442.14 |
| หีบด้วยเกลียวอัด[6] | 90.89 | 18.58 | 6.77 | 59.97 | 10.46 | 4.22 | 0.28 | 0.74 | - |
| สกัดด้วยสารเคมี[7] | 90.30 | 16.00 | 0.80 | 63.50 | 15.70 | 4.00 | 0.29 | 0.79 | 3,728 |
| สกัดด้วยสารเคมี[8] | 90.00 | 20.56 | 1.89 | 56.55 | 16.67 | 4.33 | 0.31 | 0.67 | 4,478 |

ที่มา :
1. ยุทธนา และสมเกียรติ (2532)
2. เสาวนิต และคณะ (2530)
3. วินัย และคณะ (2526)
4. วินัย และคณะ (2528)
5. ทวีศักดิ์ (2529)
6. Fetuga และคณะ (1977)
7. Yeong (1981)
8. Wiseman (1987)

กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีคุณค่าทางโภชนะดีพอสมควร คือ มีโปรตีนคุณภาพสูง และมีความสมดุลระหว่างแคลเซียมและฟอสฟอรัสดีกว่ากากเมล็ดน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ (McDonald *et al.*, 1981) และพบว่ามีกรดอะมิโนบางชนิด เช่น อาร์จีนีน และกลูตาลิก อยู่ในระดับสูง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของกรดอะมิโนในกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน(บนฐานของวัตถุแห้ง)

| กรดอะมิโน | ปริมาณกรดอะมิโน (เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ไลซีน | 0.488 | 0.733 | 0.71 | 0.69 | 0.59 |
| เมทไธโอนีน | - | 0.356 | 0.33 | 0.47 | 0.30 |
| เมทไธโอนีน+ซีสทีน | 0.554 | 0.778 | 0.60 | - | 0.50 |
| ทริพโทเฟน | 0.155 | 0.211 | 0.21 | - | 0.17 |
| ทรีโอนีน | 0.499 | 0.678 | 0.70 | 0.66 | 0.55 |
| ลูซีน | 0.998 | 1.289 | 1.19 | 1.23 | 1.11 |
| ไอโซลูซีน | 0.488 | 0.767 | 0.61 | 0.60 | 0.62 |
| วาลีน | 0.665 | 1.111 | 0.98 | 0.43 | 0.93 |
| ฮีสติดีน | 0.266 | 0.533 | 0.44 | 0.41 | 0.29 |
| อาร์จินีน | 1.863 | 2.844 | 2.79 | 2.68 | 2.18 |
| เฟนนิลอะลานีน | - | - | 0.72 | 0.82 | 0.73 |
| เฟนนิลอะลานีน+ไทโรซีน | 1.175 | 1.278 | 1.28 | 1.40 | 1.11 |
| ไกลซีน+ซีรีน | - | 1.944 | 1.91 | 1.81 | 1.51 |

ที่มา : 1 ดัดแปลงจาก ยุทธนา และสมเกียรติ (2532)

2 ดัดแปลงจาก Wiseman (1987)

3 ดัดแปลงจาก Babatunde และคณะ (1975)

4 ดัดแปลงจาก Nwokolo และคณะ (1977)

5 ดัดแปลงจาก Yeong (1981)

สำหรับประสิทธิภาพการย่อยได้ของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในปลายังไม่มีการศึกษา แต่เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของโปรตีน ไขมัน เยื่อใย และไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก (nitrogen free extract ; NFE) ของไก่กระทงอยู่ในระดับประมาณ 80, 76, 54 และ 87 ตามลำดับ (Yeong, 1981)

## 4. ปลานิล

### 4.1 ชีววิทยาของปลานิล

อนุกรมวิธานของปลานิล

Phylum Vertebrata

Class Osteichthyes

Order Perciformes

Family Cichlidae

Genus *Oreochromis*

Species *niloticus*

ปลาในตระกูลปลานิล (Tilapia) เป็นปลาที่มีต้นกำเนิดจากทวีปแอฟริกา ปลานิลมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oreochromis niloticus* (Linn.) มีริมฝีปากบนและล่างเสมอกัน บริเวณแก้มมีเกล็ด 4 แถว ลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาลและมีลายพาดขวาง 9-10 แถว ครีบหลังมีอันเดียว ประกอบด้วยก้านครีบอ่อน 9-10 อัน มีเกล็ด 33 เกล็ดบนแกนเส้นข้างลำตัว ด้านข้างมีเกล็ดตามแนวเฉียง จากตอนต้นของครีบหลังลงมาถึงเส้นข้างลำตัว 5 เกล็ด และจากเส้นข้างลำตัวลงมาถึงแนวส่วนหน้าของครีบก้น 13 เกล็ด ลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาล ตรงกลางเกล็ดมีสีเข้ม ที่กระดูกแก้มมีจุดสีเข้มอยู่หนึ่งจุด บริเวณปลายอ่อนของครีบหลัง ครีบก้น และครีบหางมีจุดสีขาวและเส้นสีดำตัดขวางอยู่ทั่วไป (มานพ และคณะ, 2536) ความแตกต่างระหว่างเพศปลานิลเห็นได้ชัดเจนจากลักษณะของติ่งเพศ โดยเพศเมียจะมีติ่งเพศปลายมน ช่องเปิดบนติ่งเพศมี 2 ช่อง คือช่องเปิดที่ปลายติ่งเป็นทางออกของปัสสาวะ ส่วนช่องเปิดตามขวางบริเวณกึ่งกลางของติ่งเพศเป็นทางออกของไข่ ส่วนปลาเพศผู้ ติ่งเพศยาวเรียวปลายแหลม ช่องเปิดมีเพียงช่องเดียวที่ปลายติ่ง สำหรับสีสันนั้นปลาตัวผู้ส่วนใหญ่บริเวณใต้คางจะมีสีคล้ำเป็นสีแดงอมม่วง

ตัวเมียส่วนใหญ่ใต้คางเป็นสีเหลือง แต่มีบ้างเช่นกันที่พบว่าตัวผู้อาจมีสีเหลืองใต้คาง จึงไม่ควรใช้ลักษณะสีในการแยกเพศ (อุทัยรัตน์, 2529) ปลานิลเป็นปลาที่เจริญเติบโตเร็ว แข็งแรง อดทน ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่กว้างมากตั้งแต่ 11 – 42 องศาเซลเซียส ทนต่อความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ได้ดีในช่วง 6.5 – 8.3 และยังมีความทนทานต่อความเค็มของน้ำสูงถึง 20 ส่วนในพันส่วน (ppt) ได้อย่างปลอดภัย ชอบอาศัยอยู่รวมกันเป็นฝูงตามแม่น้ำ ลำคลอง หนองบึง ทะเลสาบ (กรมประมง, 2541)

ปลาในตระกูลปลานิลเป็นปลาที่กินอาหารได้ทุกชนิด จัดเป็นปลากินทั้งพืชและสัตว์ (omnivorus) สามารถกินได้ทั้งแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ ซากอินทรีย์ และซากอนินทรีย์เน่าเปื่อย มูลสัตว์ สัตว์หน้าดินบางชนิด เช่น หนอนแดง รวมทั้งแบคทีเรียและพืชน้ำชนิดต่างๆ (Halver, 1989 และ De Silva and Anderson, 1995) ปลานิลเป็นปลาที่มีนิสัยชอบหาอาหารกินในเวลากลางวัน และจะหยุดกินอาหารในเวลากลางคืน แต่การย่อยอาหารยังดำเนินต่อไปอย่างต่อเนื่องและเป็นไปอย่างช้าๆ จะเสร็จสิ้นสมบูรณ์ในเวลาประมาณ 18-24 ชั่วโมง เป็นปลาที่กินอาหารได้ทั้งบนผิวน้ำ กลางน้ำ และก้นบ่อ ทำให้กินอาหารจำพวกพืช แพลงก์ตอน และอินทรีย์สารก้นบ่อ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปลานิลมีทางเดินอาหารยาวประมาณ 5-7 เท่าของลำตัว ทำให้มีประสิทธิภาพในการย่อยและดูดซึมอาหาร รวมทั้งเป็นที่อาศัยของจุลินทรีย์บางชนิดที่ช่วยสังเคราะห์สารอาหาร ปลานิลไม่มีกระเพาะแท้เหมือนปลากินเนื้อทั่วไปแต่มีเนื้อเยื่อซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกระเพาะที่สามารถหลั่งน้ำย่อยเพื่อลดความเป็นกรดเป็นด่างระหว่างย่อยอาหารได้ ดังนั้นจึงสามารถย่อยสาหร่าย และแพลงก์ตอนได้สูงถึง 68 เปอร์เซ็นต์ และ 65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่ว่าจะเป็นโปรตีน ไขมัน หรือคาร์โบไฮเดรต ปลานิลชอบกินอาหารที่มีขนาดเล็กเพราะชอบขบเคี้ยวอาหารก่อนกลืนลงกระเพาะ (กรมประมง, 2541) โดยจะใช้ฟันที่ช่องคอ (pharyngeal teeth) ในการบดอนุภาคขนาดเล็กๆ นอกจากนี้ยังพบว่า ในกระเพาะของปลานิลมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างค่อนข้างต่ำ (pH<2.0) จึงสามารถช่วยในการย่อยผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ อีกทั้งการที่ปลามีลำไส้ยาวจึงเป็นการช่วยเพิ่มเวลาในการย่อยและดูดซึมอาหารให้มากขึ้นด้วย

เนื่องจากปลานิลเพศเมียสามารถผสมพันธุ์วางไข่ได้ตั้งแต่อายุ 2 เดือนเป็นต้นไป ทำให้ปลาเพศเมียเจริญเติบโตช้าเพราะต้องสูญเสียพลังงานไปในการสร้างไข่ นอกจากนั้นแม่ปลายังฟักไข่และอนุบาลลูกปลาโดยอมไว้ในปากซึ่งใช้เวลาประมาณ 10 วัน แม่ปลาจึงไม่ได้กินอาหารทำให้น้ำหนักลด นอกจากนี้ยังทำให้เกิดลูกปลาขึ้นในบ่อ มีผลต่ออัตราความหนาแน่น

และขนาดปลาเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต แนวทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มผลผลิตการเลี้ยงเพื่อให้ได้ปลาที่มีขนาดใหญ่และใกล้เคียงกันเมื่อจับขาย คือการเลี้ยงปลานิลเพศผู้ทั้งหมด ซึ่งในปัจจุบันการเลี้ยงปลานิลเพศผู้ทั้งหมดเป็นที่นิยมกันมาก โดยสามารถดำเนินการจัดเตรียมลูกปลาเพศผู้ได้หลายวิธี เช่นคัดเฉพาะตัวผู้โดยดูลักษณะเพศภายนอก แต่วิธีการนี้ไม่เป็นที่นิยมเพราะต้องมีความชำนาญและเสียเวลามากเนื่องจากขนาดปลาที่สามารถเห็นความแตกต่างระหว่างเพศได้ชัดเจนควรมีขนาดความยาวตั้งแต่ 12 เซนติเมตรและมีน้ำหนัก 50 กรัมขึ้นไป ต่อมามีการพัฒนาเพื่อให้ได้ลูกปลานิลเพศผู้ด้วยการแปลงเพศปลาโดยให้กินอาหารผสมฮอร์โมน 17-เมทธิลเทสโทสเตอร์โรน (17-methyltestosterone หรือ 17- MT) ความเข้มข้น 40-60 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม เป็นระยะเวลานาน 28-30 วัน แต่ขั้นตอนการผลิตลูกปลาแปลงเพศเหล่านี้ค่อนข้างยุ่งยากต้องมีความรู้ความชำนาญเพียงพอ อีกทั้งอาจเป็นอันตรายต่อผู้ผลิตลูกพันธุ์ปลา นอกจากนั้นฮอร์โมน 17-เมทธิลเทสโทสเตอร์โรน ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ มีราคาแพงและเสื่อมคุณภาพได้ง่ายโดยเฉพาะในสภาพภูมิอากาศร้อนอย่างในประเทศไทย ทำให้ต้นทุนการผลิตปลาเพศผู้ในลักษณะนี้ค่อนข้างสูง และประสิทธิภาพการผลิตก็ไม่สม่ำเสมอ หากลูกปลากินอาหารผสมฮอร์โมนไม่ครบ ก็จะให้ผลผลิตเพศผู้ไม่ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามแม้ว่าฮอร์โมนเหล่านี้จะได้รับการยืนยันว่าไม่มีผลตกค้างในเนื้อปลาโดยเฉพาะในปลาที่มีขนาดจับขายได้ แต่ก็ยังมีผู้บริโภคบางส่วนที่ไม่ยอมบริโภคปลานิลที่ถูกเปลี่ยนเพศด้วยฮอร์โมนเหล่านี้

อีกแนวทางหนึ่งที่จะผลิตปลานิลเพศผู้ทั้งหมดโดยหลีกเลี่ยงปัญหาฮอร์โมนอาจตกค้างในเนื้อปลาที่จะนำไปบริโภคหรือหลีกเลี่ยงปัญหาของประสิทธิภาพการผลิตปลาเพศผู้ที่ไม่สม่ำเสมอหรือปัญหาอื่นๆ ดังกล่าวมาข้างต้น คือการผลิตปลานิลเพศผู้โดยทางอ้อม (indirect monosex production) โดยผลิตพ่อพันธุ์ปลานิลซูเปอร์เมล (supermale หรือ YY-male) ซึ่งมีโครโมโซมเพศเป็น YY แล้วนำพ่อพันธุ์ซูเปอร์เมลเหล่านี้ไปผสมกับแม่พันธุ์ปลานิลปกติจะได้ลูกปลาที่เป็นเพศผู้ทั้งหมด เนื่องจากลูกปลาเพศผู้เหล่านี้เป็นปลาเพศผู้โดยพันธุกรรม (genetically male tilapia) และมีโครโมโซมเพศเป็น XY จึงนิยมเรียกปลาเพศผู้เหล่านี้ว่า ปลานิลเพศผู้ GMT ซึ่งมีขั้นตอนพอสรุปได้ดังนี้ (ภาพที่ 2)

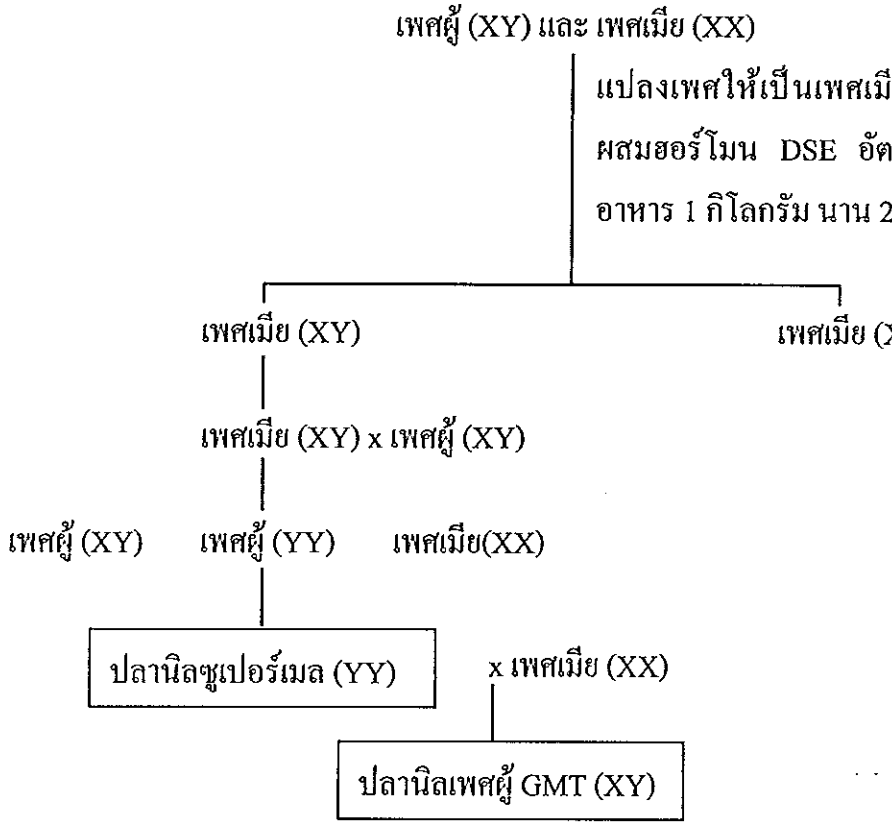
1. รวบรวมลูกปลาจากปากแม่ปลามาอนุบาลจนถุงไข่แดงยุบและเริ่มกินอาหาร

2. เตรียมอาหารผสมฮอร์โมนไดเอธทิลสทิเบสทรอล (Diethylstibestrol หรือ DSE) อัตราส่วน 1 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ละลายฮอร์โมนในสารละลายเอทธิลแอลกอฮอล์ และคลุกกับอาหารให้ทั่วให้ลูกปลากินนาน 28 วัน จะได้ลูกปลาที่เป็นเพศเมียที่มีโครโมโซม 2 แบบคือ XX และ XY

3. ตรวจสอบว่าปลาเพศเมียตัวใดเป็นเพศเมียที่มีโครโมโซม XY โดยเลี้ยงปลาเหล่านั้นจนเป็นแม่พันธุ์แล้วนำมาผสมกับปลาเพศผู้ปกติที่มีโครโมโซมเพศเป็น XY ถ้าแม่ปลาตัวใดผลิตลูกปลาที่มีอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย เท่ากับ 3 ต่อ 1 แสดงว่ามีโครโมโซมเพศเป็น XY

4. นำปลาเพศเมียที่มีโครโมโซม XY ดังกล่าวมาผสมกับปลานิลเพศผู้ปกติ จะได้ลูกปลาเพศเมียต่อเพศผู้ เท่ากับ 1 ต่อ 3 โดยในลูกปลาเพศผู้เหล่านี้จะมี 1 ส่วนที่มีโครโมโซมเพศเป็น YY

5. ตรวจสอบว่าปลาเพศผู้ตัวใดเป็นเพศผู้ที่มีโครโมโซม YY โดยนำไปผสมกับปลาเพศเมียปกติถ้าปลาตัวใดผลิตลูกปลาที่เป็นเพศผู้ทั้งหมดแสดงว่ามีโครโมโซมเพศเป็น YY แสดงว่าเป็นปลานิลซูเปอร์เมล เมื่อนำมาผสมกับปลาเพศเมียปกติ จะได้ปลาเพศผู้ GMT หรือที่เรียกว่าเป็นปลานิลสายพันธุ์จิตรลดา 2




ภาพที่ 2 แผนผังแสดงการผลิตปลานิลซูเปอร์เมลและปลานิลเพศผู้ GMT
ที่มา : นวลมณี และพุทธรัตน์ (2538)

จากการทดลองเลี้ยงปลานิลรวมเพศและปลานิลเพศผู้ GMT อายุ 1 เดือนในบ่อดินนาน 8 เดือน พบว่าปลานิลเพศผู้ GMT เจริญเติบโตได้เร็วกว่าการเลี้ยงปลานิลรวมเพศ โดยปลานิลเพศผู้ GMT มีความยาวและน้ำหนักเฉลี่ย 24.6 เซนติเมตร และ 302.06 กรัม ตามลำดับ ส่วนปลานิลรวมเพศ มีความยาวและน้ำหนักเฉลี่ย 22.37 เซนติเมตร และ 228.72 กรัม ตามลำดับ โดยปลานิลเพศผู้ GMT มีความยาวและน้ำหนักเฉลี่ยมากกว่าปลานิลรวมเพศ 9.07 เปอร์เซ็นต์ และ 24.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการเลี้ยงปลานิลรวมเพศให้ผลผลิตรวมต่อบ่อ 217.43 กิโลกรัม ส่วนการเลี้ยงปลานิลเพศผู้ GMT ให้ผลผลิตรวมต่อบ่อ 303.02 กิโลกรัม ซึ่งให้ผลผลิตสูงกว่าการเลี้ยงปลานิลรวมเพศ 28.25 เปอร์เซ็นต์ (นวลมณี และพุทธรัตน์, 2538)

**4.2 สถานการณ์การเพาะเลี้ยงและการตลาดปลานิล**

เครือวัลย์ (2542) กล่าวว่า สายพันธุ์สัตว์น้ำในตระกูลปลานิลที่นิยมเลี้ยงในบ่อกันมาก ได้แก่ Nile tilapia (*0reochromis niloticus*), blue tilapia (*O. aureus*), Mozambique tilapia (*O. mossambicus*), three spotted tilapia (*O. andersonii*), longfin tilapia (*O. macrochir*), mango tilapia (*Sarotherodon galilaeus*), blackchin tilapia (*S. melanotheron)*, spotted tilapia (*Tilapia mariac*) และ redbelly tilapia (*T. zilii*)

ในปัจจุบันปลานิลเข้ามาบทบาทในการแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารโปรตีนสำหรับบริโภคของประชาชน และเป็นปลาที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจในด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเป็นอันดับหนึ่ง จากสถิติกรมประมงปี พ.ศ. 2532 ปรากฏว่ามีผลผลิตปลานิลทั่วประเทศ 42,200 ตัน มีมูลค่า 544.9 ล้านบาท และมีเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาชนิดนี้ 21,115 ราย โดยทำการเลี้ยงในบ่อ 15,598 ราย เลี้ยงในนา 5,317 ราย และผลผลิตรวมในปี พ.ศ. 2538 ทั้งจากการเพาะเลี้ยงและจากการจับจากธรรมชาติ มีปริมาณ 131,800 ตัน ซึ่งผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้นเป็น 76,000 ตัน (กรมประมง, 2540) ดังนั้นกรมประมงจึงกำหนดเป็นนโยบายให้ปลานิลเป็นปลาเศรษฐกิจตัวหนึ่งในการส่งเสริมการเลี้ยงปลาน้ำจืดเพื่อการส่งออก

ในปี พ.ศ. 2539 ผลผลิตสัตว์น้ำตระกูลปลานิลจากธรรมชาติ และการเพาะเลี้ยงทั่วโลกมีจำนวน 1,265,600 ตัน ซึ่งเป็นผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงมากกว่า 800,800 ตัน คาดว่ายังคงขยายตัวในปีต่อๆไป โดยเอเชียเป็นแหล่งผลิตที่สำคัญ กล่าวคือในปี พ.ศ. 2539 มีผลผลิตประมาณ 700,400 ตัน เป็นผลผลิตจากประเทศจีนร้อยละ 56.3 รองลงมาได้แก่อินโดนีเซีย (78,400 ตัน) ไทย (76,400 ตัน) ฟิลิปปินส์ (76,400 ตัน) และไต้หวัน (44,800 ตัน) โดยที่ประเทศที่มีการส่งออกปลานิลมากได้แก่ ไต้หวัน ไทย อินโดนีเซีย สิงคโปร์ คอสตาริกา โคลัมเบีย จาไมกา เวเนซุเอลา และเอควาดอร์ ตลาดที่สำคัญของการส่งออกปลานิลได้แก่ สหรัฐอเมริกา รองลงมาคือ ตลาดในกลุ่มยุโรป ซึ่งสถานการณ์ตลาดสัตว์น้ำในตระกูลปลานิลในสหรัฐอเมริกากำลังพัฒนาอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าสีของเนื้อปลาค่อนข้างขาว สามารถแล่เนื้อได้ง่าย มีก้างน้อย มีรสชาติดี ไม่มีกลิ่น และใช้ปรุงอาหารได้หลายอย่าง อาจใช้แทนปลาเนื้อขาวอย่างอื่นได้ดี ในปี พ.ศ. 2535 มีการนำเข้าปลานิล 3,400 ตัน มูลค่า 4.5 ล้านเหรียญสหรัฐ ในปี พ.ศ. 2540 ได้เพิ่มขึ้นเป็น 24,400 ตัน มูลค่า 4.95 ล้านเหรียญสหรัฐ ผู้ผลิตรายใหญ่ที่นำเข้าสหรัฐได้แก่ ไต้หวัน ลักษณะปลาที่นำเข้าจะเป็นปลาทั้งตัวแช่แข็ง ผู้ผลิตรายใหญ่รองลงมาได้แก่ คอสตาริกา เป็นปลาลักษณะปลาแล่เนื้อสด ส่วนอินโดนีเซียเป็นปลาแล่เนื้อแช่แข็ง

นอกจากนี้ยังมีผู้ผลิตรายสำคัญอื่นๆ ได้แก่ เอควาดอร์ จาไมกา ไทย และฮอนดูรัส โดยมีสนนราคาสำหรับปลามีชีวิตกิโลกรัมละ 4-4.8 เหรียญสหรัฐ ส่วนปลาสดแล่เนื้อกิโลกรัมละ 9 เหรียญสหรัฐ และปลาแล่เนื้อแช่แข็งมีราคาอยู่ระหว่างกิโลกรัมละ 5.5-6.7 เหรียญสหรัฐ สำหรับตลาดยุโรปเป็นตลาดเล็กๆ ที่กำลังมีการพัฒนาขึ้นโดยมีอังกฤษเป็นตลาดที่สำคัญ นอกจากนั้นเป็นตลาดอื่นๆ เช่น เยอรมัน ฝรั่งเศส เบลเยี่ยม ออสเตรีย อิตาลี สวิสเซอร์แลนด์ และเนเธอร์แลนด์ ตลาดหลักจะอยู่ในเมืองใหญ่ๆ ซึ่งมีชุมชนชาวแอฟริกันและเอเชียอาศัยอยู่หนาแน่น เช่น ลอนดอน ปารีส อัมสเตอดัม ปริมาณการซื้อขายปลาชนิดนี้เกือบทั้งหมดในยุโรปได้มาจากการนำเข้า (เครือวัลย์, 2542)

จากข้อมูลข้างต้นจัดว่า ปลานิลเป็นปลาเศรษฐกิจที่น่าสนใจและมีศักยภาพเพียงพอสำหรับการเพาะเลี้ยงเชิงอุตสาหกรรม และเป็นปลาที่สามารถพัฒนาการผลิตได้ไม่จำกัด ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการแข่งขันกันในด้านปริมาณและราคา ผู้ที่สามารถผลิตปลาให้มีคุณภาพดีและมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดจึงจะมีผลกำไร

ดังที่ทราบโดยทั่วไป การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีต้นทุนการผลิตประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์เป็นค่าอาหาร การผลิตปลานิลก็เช่นเดียวกัน ดังนั้นข้อมูลด้านโภชนาศาสตร์ของปลานิลนับว่าเป็นเรื่องที่สำคัญและน่าสนใจ จึงได้มีการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวางในหลายๆ เรื่องเพื่อการผลิตอาหารเฉพาะสำหรับปลานิลให้ตรงตามความต้องการสารอาหารสำหรับปลานิล

**4.3 ความต้องการสารอาหารของปลานิล**

ปลาต้องการโปรตีนจากสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างเนื้อเยื่อรวมทั้งเป็นแหล่งให้พลังงานที่สำคัญด้วย ความต้องการโปรตีนของปลาจะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการที่สำคัญได้แก่ ขนาดหรืออายุ คุณภาพโปรตีนในอาหาร จากรายงานการศึกษา พอที่จะสรุปได้ว่าความต้องการโปรตีนโดยประมาณของปลานิลอยู่ระหว่าง 30-40 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของปลานิล ขนาดของปลา สัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงาน (protein : energy ratio) และความแปรผันอื่น ๆ ของการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความต้องการโปรตีนโดยประมาณในอาหารปลานิล

| ชนิดของปลานิล | ระยะ | ระดับโปรตีน (เปอร์เซ็นต์ในอาหาร) | อ้างอิง |
|---|---|---|---|
| *O. aureus* | วัยอ่อน | 36 | Davis และ Stickney (1978) |
| *O. aureus* | ปลานิ้ว | 34 | Winfree และ Stickney (1981) |
| *O. mossambicus* | วัยอ่อน | 40 | Jauncey (1982) |
| *O. mossambicus* | ปลานิ้ว | 30 | Jackson และคณะ (1982) |
| *T. niloticus* | ปลานิ้ว | 30-40 | Wang และคณะ (1985) |
| *O. niloticus* | ปลานิ้ว | 25-40 | Teshima และคณะ (1986) |
| | | | Siddiqui และคณะ (1988) |
| | | | Wee และTuan (1988) |
| | | | Young และคณะ (1989) |
| *S. mossambicus* | วัยรุ่น | 40 | Jauncey (1982) |
| Hybrid Tilapia | - | 30-35 | Viola และ Zohar (1984) |

แต่จากการศึกษาของ Viola และ Arieli (1982), Viola และคณะ (1994), Finemen-Kelio และCamacho (1987) สรุปได้ว่าช่วงของโปรตีนที่ต่ำที่สุดที่ใช้ในอาหารปลานิลขนาดเล็กคือ ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ความต้องการโปรตีนของปลานิล นอกจากพิจารณาจากระดับเปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในอาหารแล้ว ควรจะต้องพิจารณาถึงคุณภาพของโปรตีน โดยเปรียบเทียบจากปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นที่ปลาต้องการกับปริมาณกรดอะมิโนที่มีอยู่จริงในอาหาร สำหรับการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นที่สมบูรณ์มากที่สุดในปลานิล *O. niloticus* ทดลองโดย Santiago และ Lovell (1988) ส่วน Jauncey และคณะ (1983) ศึกษาความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นในปลานิล *O. mossambicus* รวมทั้งบทสรุปคุณภาพของโปรตีนตามความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นในปลานิลที่ศึกษาโดย Kevin (1997) พบว่าความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักอาหารแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 กรดอะมิโนที่จำเป็นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักอาหารแห้งที่ใช้ทดลองเลี้ยงปลานิล

| ชนิดของกรดอะมิโนที่จำเป็น | ปริมาณความต้องการ (เปอร์เซ็นต์ ต่ออาหารแห้ง) | | |
|---|---|---|---|
| | *Tilapia*[1] | *O. niloticus*[2] | *O. mossambicus*[3] |
| อาร์จีนีน | 1.5 | 1.18 | 1.13 |
| ไอโซลูซีน | 0.9 | 0.87 | 0.80 |
| ไลซีน | 1.6 | 1.34 | 1.51 |
| เฟนนิลอะลานีน | 1.5 | 1.05(1.74% ไทโรซีน ) | 1.00 |
| วาลีน | 1.2 | 0.78 | 0.88 |
| ฮิสติดีน | 0.5 | 0.48 | 0.43 |
| ลูซีน | 1.5 | 0.95 | 1.35 |
| เมทไธโอนีน | 0.5(0.75% ซิสทีน) | 0.75(0.5% ซิสทีน) | 0.40 |
| ทริพโทเฟน | 0.2 | 0.28 | - |
| ทรีโอนีน | 1.0 | 1.05 | 1.17 |

ที่มา : [1] Kevin (1997), [2] Santiago และ Lovell (1988), [3] Jauncey และคณะ (1983)

ในขณะที่โปรตีนจะถูกนำมาใช้ในการเจริญเติบโตเป็นหลักมากกว่าเป็นแหล่งพลังงาน แต่ถ้าปลาได้รับพลังงานจากกลูโคสหรือกรดไขมันน้อยเกินไป จะทำให้กรดอะมิโนถูกออกซิไดส์เป็นพลังงาน (Stickney and Lovelly, 1977) ปลาที่ได้พลังงานต่ำกว่าความต้องการจะมีการเจริญเติบโตลดลง แต่ถ้าได้รับพลังงานพอดีกับความต้องการจะมีการเจริญเติบโตเร็วที่สุด ดังนั้นอาหารที่มีสัดส่วนพลังงานและโปรตีนที่เหมาะสมจะทำให้ปลาเจริญเติบโตเร็วที่สุด จึงทำให้การผลิตอาหารปลาในปัจจุบันต้องพิจารณาถึงสัดส่วนของพลังงานที่ย่อยได้ต่อกรัมโปรตีน (digestible energy/gm protein หรือ DE/P) ซึ่งหมายถึง ปลาที่ได้รับปริมาณโปรตีนเพียงพอแก่ความต้องการแล้ว ควรมีพลังงานที่ย่อยได้จากโปรตีน ไขมันและคาร์โบไฮเดรตเพียงพอแก่ความต้องการด้วย ผลการศึกษาเกี่ยวกับความต้องการพลังงานในอาหารของปลานิลชนิดและขนาดต่างๆ แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ระดับพลังงานและระดับโปรตีนในอาหารทดลองของปลานิลชนิดต่างๆ และขนาดต่างๆ

| โปรตีน (%) | พลังงาน (กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม) | อัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงาน (มิลลิกรัมโปรตีนต่อกิโลคาลอรี) | ชนิดและขนาดของปลานิล | อ้างอิง |
|---|---|---|---|---|
| 56.6 | 4,600(DE) | 123 | *O. aureus* (2.5 g) | Winfree และ Stickney (1981) |
| 34.0 | 3,200(DE) | 108 | *O. aureus* (7.5 g) | Winfree และ Stickney (1981) |
| 34.7 | 3,640(GE) | 95.3 | *T. zillii* (1-2 g) | Mazid และคณะ (1979) |
| 29.6 | 3,640(GE) | 81.3 | *T. zillii* (1-2 g) | Mazid และคณะ (1979) |
| 28 | 3,790(GE) | 75 | Hybrid Tilapia (161.7g) | Hanley และ คณะ (1997) |
| 28 | 2,980(DE) | 95 | Hybrid Tilapia (161.7g) | Hanley และ คณะ (1997) |
| 32 | 2,990(DE) | 107 | Hybrid Tilapia (161.7g) | Hanley และ คณะ (1997) |
| 32 | 3,800(GE) | 83 | Hybrid Tilapia (161.7g) | Hanley และ คณะ (1997) |
| 45 | 4,000(GE) | 110 | *O. niloticus* (12 g) | El-Sayed และ Teshima (1992) |
| 30.1 | 3,000(DE) | 100 | *O. mossambicus* (5-30g) | El-Dahhar และ Lovell (1995) |

หมายเหตุ : GE = พลังงานที่ได้รับ (Gross energy)
DE = พลังงานที่ย่อยได้ (Digestible energy)

จากผลการศึกษาดังกล่าวข้างต้นพอที่จะสรุปได้ว่า ค่าที่เหมาะสมของระดับโปรตีนต่อค่าพลังงานที่ย่อยได้ (P/DE) สำหรับการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดของปลานิลมีค่าประมาณ 100 มิลลิกรัมโปรตีนต่อกิโลคาลอรี (Winfree and Stickney, 1981; Santiago and Laron, 1991; El-Dahhar and Lovell; 1995; Hanley *et al.*, 1997) สำหรับไขมันเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานมากที่สุด โดยให้พลังงานมากกว่าคาร์โบไฮเดรตประมาณ 2 เท่า (NRC, 1993) ปลานิลเป็นปลาที่ต้องการกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-6 Kanazawa และคณะ (1980) พบว่าปลานิล *T. zillii* ต้องการกรดไขมันในอาหารที่มีกรดลิโนลิอิก (linoleic) (18:2n-6) 1 เปอร์เซ็นต์ หรือ กรดอะราคิโดนิก (arachidonic) (20:4n-6) 1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เจริญเติบโตดีกว่าเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีกรดลิโนลีนิค (linolenic) (18:3n-3) และ 20:5n-3 (EPA : eicosapentaenoic) ส่วน Takeuchi และคณะ (1983b) รายงานว่าปลานิล *O. niloticus* ต้องการกรดลิโนลิอิก 0.5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับความต้องการกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3 ปลานิลต้องการน้อยหรือไม่มีเลย เช่น การศึกษาของ Viola และคณะ (1988a) ที่พบว่าการให้อาหารที่มีน้ำมันปลาซึ่งมีองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (n-3) สูงไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลเลย นอกจากนั้น Takeuchi และคณะ (1983a) ทดลองใช้ไขมันหลาย ๆ ชนิดต่อการเจริญเติบโตของปลานิล *O. niloticus* และพบว่าน้ำมันตับปลาพอลล็อก (pollock liver oil) ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิล ส่วนแหล่งของไขมันที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองคือ น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันถั่วเหลือง เนื่องจากทั้งสองชนิดนี้มีกรดไขมันในกลุ่มลิโนลิอิคสูง และยังพบว่าปลานิลสามารถใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานได้ดี นอกจากนั้นคาร์โบไฮเดรตยังเป็นแหล่งสำรองโปรตีนและไขมันที่ใช้สำหรับการเจริญเติบโตและทำหน้าที่อื่นๆ ปลานิลสามารถใช้วัตถุดิบอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง เช่น รำข้าว ปลายข้าว และมันสำปะหลัง เป็นแหล่งให้พลังงานที่ดี สำหรับอาหารปลานิลมีแป้งในปริมาณสูงได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่กระทบต่อการเจริญเติบโตสำหรับปลานิลขนาดใหญ่ แต่ในอาหารปลานิลขนาดเล็กไม่ควรมีแป้งเกิน 35 เปอร์เซ็นต์ เพราะจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตและอัตรารอดตายต่ำ (กรมประมง, 2541) ส่วน Kevin (1997) กล่าวว่าในอาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิลขนาดต่ำกว่า 1 กรัมไม่ควรมีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบอยู่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ แต่ในปลาที่มีขนาด 1 กรัมขึ้นไป สามารถมีคาร์โบไฮเดรตในอาหารได้ประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์

ปลาที่ได้รับคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าความต้องการจะนำเอาโปรตีนหรือไขมันที่สะสมในร่างกายมาเผาผลาญให้เกิดพลังงาน มีผลทำให้ปลาผอม หรืออาจไปนำเอาโปรตีนในอาหารมาเผาผลาญให้เกิดพลังงาน แทนที่จะใช้เพื่อการเจริญเติบโตอย่างเดียว ทำให้ปลามีการเจริญเติบ

โตช้าลง ดังนั้นบทบาทและหน้าที่ของของคาร์โบไฮเดรตต่อการผลิตอาหารปลาจึงมีความสำคัญอย่างมากเพราะคาร์โบไฮเดรตจัดเป็นแหล่งพลังงานที่ราคาถูกที่สุด ทำให้มีการศึกษาถึงการทดแทนโปรตีนบางส่วนด้วยคาร์โบไฮเดรต (protein sparing action) โดยการลดโปรตีนในสูตรอาหารบางส่วนลง แล้วเพิ่มคาร์โบไฮเดรตเข้าไป เพื่อให้ปลามีการเจริญเติบโตเท่าเดิม แนวทางดังกล่าวทำให้ต้นทุนค่าอาหารลดลง ทำให้ได้ผลกำไรมากขึ้น จึงได้มีการนำแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่หาง่าย และราคาถูก เพิ่มเข้าไปในสูตรอาหาร เพื่อลดปริมาณการใช้ปลาป่น

**5. การทดแทนโปรตีนด้วยคาร์โบไฮเดรต**

คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานหลักอย่างหนึ่งในองค์ประกอบอาหารสัตว์ แม้ว่าสัตว์น้ำจะใช้แหล่งพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตได้ไม่ดีเท่าที่ควร (NRC, 1993) แต่ก็มีปลาบางชนิดที่สามารถใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานได้ค่อนข้างดีโดยเฉพาะปลาที่กินพืช หรือกินทั้งพืชและสัตว์เป็นอาหารตัวอย่างเช่น ปลานิลสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตได้ดีกว่าปลาไน (common carp) และปลาดุกอัฟริกัน (African catfish) (Degani and Revach, 1991) ปลานิลสามารถใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานได้ดี นอกจากนั้นคาร์โบไฮเดรตยังเป็นแหล่งสำรองโปรตีนและไขมันที่ใช้สำหรับการเจริญเติบโตและทำหน้าที่อื่นๆ ปลานิลสามารถใช้วัตถุดิบอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง เช่น รำข้าว ปลายข้าว และมันสำปะหลัง เป็นแหล่งให้พลังงานที่ดีโดยผสมในอาหารได้ประมาณ 30-60 เปอร์เซ็นต์ จากหลายๆ รายงานการทดลองพบว่าการทดแทนโปรตีนด้วยคาร์โบไฮเดรตในอาหารปลานิล ปลาสามารถใช้ประโยชน์จากอาหารในการเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพ รายงานของกรมประมง (2541) พบว่าปลานิลขนาด 10-100 กรัมต้องการโปรตีนในอาหาร 28-30 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณคาร์โบไฮเดรตและลดปริมาณโปรตีนลงปลาก็สามารถเจริญเติบโตได้ดี Shiau และ Peng (1993) ได้ทดลองใช้กลูโคส แป้ง (starch) และเด็กซ์ตริน (dextrin) ซึ่งเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลลูกผสมวัยรุ่น พบว่าสามารถลดระดับโปรตีนในอาหารลงจาก 28 เปอร์เซ็นต์ เป็น 24 เปอร์เซ็นต์ โดยเพิ่มแป้งหรือเด็กซ์ตรินจาก 37 เป็น 41 เปอร์เซ็นต์ ได้โดยไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพของการใช้อาหาร และคุณภาพซากของปลา ส่วน Zhongji และคณะ (1996) ได้ทำการศึกษาการทดแทนเด็กซ์ตรินในระดับ 9, 32 และ 50 เปอร์เซ็นต์ และไขมันในระดับ 22.2, 12 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับในอาหารปลานิลที่มีระดับโปรตีนเพียง 20 เปอร์เซ็นต์ และระดับพลังงาน (DE) 3,200 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ผลการทดลองพบว่าปลา

นิลมีการเจริญเติบโตดีขึ้นเมื่อเพิ่มระดับของคาร์โบไฮเดรตและลดระดับของไขมันลง แสดงให้เห็นว่าแม้ในอาหารที่มีระดับโปรตีนเพียง 20 เปอร์เซ็นต์ แต่การเพิ่มคาร์โบไฮเดรตลงในอาหารให้มีระดับของพลังงานที่เพียงพอปลานิลก็ยังเจริญเติบโตได้ดี นอกจากนี้ยังมีการทดลองอื่นๆ ที่ชี้ให้เห็นว่าปลาที่กินทั้งเนื้อและพืช หรือปลาที่กินซากในกลุ่มเดียวกับปลานิลสามารถใช้แหล่งอาหารจากคาร์โบไฮเดรตในการเจริญเติบโตได้ Erfanullah และ Jafri (1995) ทดลองเพิ่มระดับของคาร์โบไฮเดรต (เด็กซ์ตริน) จาก 30 เปอร์เซ็นต์ เป็น 40 เปอร์เซ็นต์ และลดระดับของโปรตีนจาก 40 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 30 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารที่เตรียมสำหรับเลี้ยงปลายี่สก (*Labeo rohita*) ผลการทดลองพบว่าสัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนดังกล่าวไม่ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) ลดลง ในขณะเดียวกันยังส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนอีกด้วย นอกจากนี้การทดลองยังพบว่าการเพิ่มระดับของคาร์โบไฮเดรตในอาหารและลดระดับของโปรตีนลงจะช่วยกระตุ้นให้กิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตสูงขึ้น Shimeno และคณะ (1995) พบว่าการเพิ่มระดับคาร์โบไฮเดรตจาก 4 ถึง 58 เปอร์เซ็นต์ และลดระดับโปรตีนจาก 65 ถึง 27 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์กลูโคสฟอสเฟตไอโซเมอร์เรส (glucosephosphate isomerase) กลูโคส 6-ฟอสเฟต(glucose-6-phosphate) ฟอสโฟกลูโคเนต ดีไฮโดรจีเนส(phosphogluconate dehydrogenase) และเอมไซม์มาลิก (malic enzyme) ในตับเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งพบว่าระดับของไกลโคเจน (glycogen) และซีรัมไตรกลีเซอร์ไรด์ (serum triglyceride) สูงขึ้นเช่นกัน จากการที่ระดับของกิจกรรมและเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าคาร์โบไฮเดรตในอาหารจะกระตุ้นกระบวนการไกลโคไลสิส (glycolysis) และไลโพจีนีสิส (lipogenesis) ขณะเดียวกันก็มีผลไปลดกระบวนการสร้างกลูโคส (gluconeogenesis) และการสลายกรดอะมิโนที่สะสมมาใช้เป็นพลังงานให้ลดน้อยลง

อย่างไรก็ตามการเพิ่มระดับของคาร์โบไฮเดรตในอาหารและทำให้ปลามีประสิทธิภาพในการใช้สารอาหารชนิดนี้ได้สูงขึ้น จำเป็นต้องเสริมธาตุหรือสารอาหารบางชนิดลงไปในองค์ประกอบอาหารด้วย เช่น ไนอะซิน (niacin) ซึ่งเป็นโคเอนไซม์ (coenzyme) ที่จำเป็นในกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต (Shiau and Suen, 1992) Shiau (1997) ทดลองเสริมไนอะซิน ลงในอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลลูกผสมที่มีเด็กซ์ตริน และกลูโคส (glucose) เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต ผลการศึกษาพบว่าการเสริมไนอะซินปริมาณ 121 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่มีเด็กซ์ตรินเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสูงสุด

และการเสริมไนอะซินปริมาณ 126 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในอาหารที่มีกลูโคสเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตจะทำให้ปลาเจริญเติบโตดีที่สุด เมื่อเทียบกับปลาในกลุ่มที่ไม่มีการเสริมไนอะซินในอาหาร นอกจากนี้การเสริมโครมิกซ์ออกไซด์ ($Cr_2O_3$) ในระดับ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในอาหารที่มีกลูโคสเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตพบว่าจะทำให้ประสิทธิภาพการใช้กลูโคสและการเจริญเติบโตของปลานิลลูกผสม (*O. niloticus* x *O. aureus*) ดีที่สุดเมื่อเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมโครมิกซ์ออกไซด์ หรือเสริมในระดับที่สูงหรือต่ำกว่า (Shiau and Shy, 1998) ส่วนการศึกษาของ Zhongji และคณะ (1996) พบว่าการเสริมฟอสฟอรัสลงในอาหารปลาที่มีระดับของคาร์โบไฮเดรตสูง 36-50 เปอร์เซ็นต์ ในปริมาณ 1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะทำให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตดีขึ้นเมื่อเทียบกับปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่เสริมฟอสฟอรัสหรือเสริมลงไปในระดับ 0.85 เปอร์เซ็นต์ ขณะเดียวกันการทดลองดังกล่าวยังพบว่าการเสริมสังกะสี 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะมีผลไปยับยั้งการเจริญเติบโตของปลานิล นอกจากการเสริมสารอาหารหรือธาตุที่จำเป็นลงไปในอาหารแล้วรูปแบบของคาร์โบไฮเดรตก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้คาร์โบไฮเดรตและการเจริญเติบโตของปลาด้วย เช่น พบว่ากลูโคสไม่สามารถทดแทนโปรตีนได้ดีเท่าแป้งและเด็กซ์ตริน Chuang และ Shiau (1993) ทดลองใช้แป้ง ซูโครส (sucrose) มอลโตส (maltose) และกลูโคส ในอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลลูกผสม (*O. niloticus* x *O. aureus*) โดยใช้องค์ประกอบอาหารดังกล่าวในระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ เท่ากันทุกสูตร ผลการทดลองพบว่าปลานิลเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อได้รับอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ ตามด้วยกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีมอลโตส ซูโครส และกลูโคส ตามลำดับ (แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทั้งสามกลุ่มการทดลอง) และพบว่าองค์ประกอบของไขมันในร่างกายปลาที่ได้รับอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบสูงกว่าด้วยเช่นกัน เช่นเดียวกับรายงานการทดลองของ Shiau และ Lin (1993) ที่พบว่าปลานิลลูกผสมที่ได้รับอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบในอาหารจะเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีกลูโคสเป็นองค์ประกอบในระดับเดียวกัน ซึ่งผลการศึกษาต่างๆ ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าปลานิลมีความสามารถในการย่อยและใช้คาร์โบไฮเดรตในรูปเชิงซ้อน (complex carbohydrate) ได้ดีกว่ากลุ่มไดแซคคาร์ไรด์ (disaccharide) และโมโนแซคคาร์ไรด์ (monosaccharide) ดังนั้นการเสริมคาร์โบไฮเดรตที่เป็นไดแซคคาร์ไรด์ และโมโนแซคคาร์ไรด์ ในอาหารปลาจึงมีประสิทธิภาพในการนำไปใช้ประโยชน์เชิงประยุกต์ในสภาพการเลี้ยงจริงได้ไม่ดีเท่าที่ควร นอกจากนี้ยังพบว่าในกรณีที่อาหารมีองค์ประกอบของสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตสูงๆ ปลาจะมีประสิทธิภาพในการใช้สารอาหารประเภทนี้ได้สูงขึ้นเมื่อเตรียมอาหารจากคาร์โบไฮเดรตที่สุกแล้ว เช่น

Takeuchi และคณะ (1994) ศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยคาร์โบไฮเดรตในปลานิลและปลาคาร์พโดยใช้อาหารทดสอบที่มีระดับโปรตีน 36 เปอร์เซ็นต์ และคาร์โบไฮเดรต 40 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาพบว่าปลาทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการย่อยคาร์โบไฮเดรตสูงขึ้นเมื่อได้รับอาหารที่มีองค์ประกอบของแป้งข้าวโพดสุกในสัดส่วนที่สูงขึ้น ส่งผลให้ปลาทั้ง 2 ชนิดมีการเจริญเติบโตดีขึ้น โดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของอาหาร และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนมีแนวโน้มสูงขึ้น นอกจากนี้จากการศึกษายังพบว่าการใช้อาหารปลาที่มีระดับของคาร์โบไฮเดรตสูงๆ ความถี่ในการให้อาหารจะมีผลต่อประสิทธิภาพของการย่อยและใช้คาร์โบไฮเดรตด้วย Tung และ Shiau (1991) ศึกษาผลของความถี่ในการให้อาหารปลานิลที่มีระดับของแป้งและกลูโคสเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในอาหารสูง (40 เปอร์เซ็นต์) ผลการศึกษาพบว่าปลานิลที่ได้รับอาหารวันละ 6 ครั้งจะมีการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 2 ครั้งต่อวัน ทั้งคาร์โบไฮเดรตจาก 2 แหล่ง แต่อย่างไรก็ตามพบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบในอาหารจะมีการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีกลูโคสเป็นองค์ประกอบทั้งการให้อาหาร 6 ครั้งต่อวันและ 2 ครั้งต่อวัน

นอกจากนี้การใช้คาร์โบไฮเดรตทดแทนโปรตีนในอาหารปลาในระดับสูงๆ ก็มีข้อจำกัดและปัจจัยหลายๆ ประการเข้ามาเกี่ยวข้องเช่น ระดับของคาร์โบไฮเดรตที่สูงขึ้นในอาหารจะทำให้ระดับของเยื่อใยในอาหารสูงขึ้นด้วย Shiau และ Kwok (1989) รายงานว่าระดับของเยื่อใยโดยทดลองใช้ เซลลูโลส (cellulose) วุ้น (agar) กัวร์กัม (guargum) คาร์ราจิแนน (carrageenan) และคาร์บอกซีเมลทิลเซลลูโลส (CMC) ในอาหารสูง (10 เปอร์เซ็นต์) มีผลให้ปลานิลลูกผสมมีประสิทธิภาพในการดูดซึมสารอาหารคาร์โบไฮเดรต และอัตราแลกเนื้อลดลง จึงทำให้ปลาเจริญเติบโตลดลงด้วย ส่วน Shiau และ Liang (1994) ทดลองเสริมวุ้น (agar) ในระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารที่มีระดับโปรตีน 24 และ 35 เปอร์เซ็นต์ ในปลานิลลูกผสม ผลการศึกษาพบว่าปลากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมวุ้น 10 เปอร์เซ็นต์ในอาหารที่มีโปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์ จะมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของอาหาร (feed efficiency ratio) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio) และพลังงานสะสมน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมวุ้น แต่การศึกษาไม่ได้วิเคราะห์ค่าดังกล่าวที่ระดับโปรตีนในอาหาร 24 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าที่ระดับโปรตีนในอาหาร 24 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจะสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงทั้งในสูตรที่เสริมและไม่เสริมวุ้น และผลการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมวุ้น 10 เปอร์เซ็นต์จะมีประสิทธิภาพในการย่อยลดลงโดยเฉพาะประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตจะต่ำกว่าชุดที่

ได้รับอาหารไม่เสริมวุ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง และพบว่าประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตของปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 24 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์อย่างชัดเจนทั้งในชุดการทดลองเสริมและไม่เสริมวุ้น

6. โปรตีนทดแทน

อาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิลก็เหมือนอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำทั่วๆ ไป ซึ่งมีแหล่งโปรตีนจากปลาป่น ถั่วเหลืองป่น ข้าวโพดป่น เมล็ดฝ้ายป่น และข้าวสาลี โดยเฉพาะปลาป่นซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในอาหารสัตว์น้ำซึ่งมีราคาแพง แต่ปลานิลเป็นสัตว์น้ำที่มีราคาไม่สูงมากนัก ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องหาวัสดุอาหารชนิดอื่นที่มีราคาถูกกว่ามาใช้เป็นแหล่งโปรตีนแทนปลาป่นบางส่วนหรือทั้งหมดเพื่อลดต้นทุนในการผลิต จึงมีการดัดแปลงแหล่งโปรตีนขึ้นมาใหม่ตามที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่นและมีราคาถูกเพื่อนำมาใช้เลี้ยงปลานิล เช่น การศึกษาของ El-Sayed (1998) ที่ใช้แหล่งโปรตีนจากสัตว์ได้แก่ กุ้งป่น เนื้อและกระดูกป่น เลือดป่น เลือดป่นผสมกับเนื้อและกระดูกป่น และผลพลอยได้จากสัตว์ปีกป่น เตรียมอาหารที่มีโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ และมีพลังงานทั้งหมด 4,000 กิโลคาลอรีต่ออาหาร 1 กิโลกรัมเท่ากันทุกสูตรโดยใช้ทดแทนปลาป่นเลี้ยงปลานิล (*O. niloticus*) ขนาด 12.5 กรัมเป็นเวลา 150 วัน พบว่ากุ้งป่น เนื้อและกระดูกป่น และผลพลอยได้จากสัตว์ปีกป่นสามารถใช้ทดแทนปลาป่นได้ทั้งหมด และยังพบว่าแหล่งโปรตีนเหล่านี้ช่วยลดต้นทุนการผลิตได้มากกว่าปลาป่น สอดคล้องกับการทดลองของ Serna และคณะ (1996) ซึ่งผลิตอาหารเลี้ยงปลานิล (*O. niloticus*) วัยอ่อน (ขนาด 0.1 กรัม) โดยอาหารทดลองมีระดับโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับพลังงาน (GE) 32,262.25 จูลต่อกรัม เท่ากันทุกสูตร ผลการทดลองพบว่าสามารถใช้ผลพลอยได้จากสัตว์ทดแทนปลาป่นได้ทั้งหมดโดยการเจริญเติบโตของปลาเป็นปกติ และสามารถลดต้นทุนการผลิตอาหารได้ 13 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน นอกจากนี้ยังมีการทดลองของ Belal และคณะ (1995) สรุปว่าสามารถใช้ไส้ไก่หมัก (chicken offal silage) ในสูตรอาหารเลี้ยงปลานิลได้มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอาหารที่มีโปรตีน 36 เปอร์เซ็นต์ และมีพลังงาน 400 กิโลคาลอรีต่อ 100 กรัม เลี้ยงปลานิลขนาด 10.8 กรัม นาน 5 สัปดาห์ นอกจากนั้น Tacon และคณะ (1983) พบว่าเนื้อและกระดูกป่นที่ผ่านการสกัดด้วยสารเฮกเซน (hexane) หรือเนื้อและกระดูกป่นผสมกับเลือดป่นในอัตรา 4:1 และเสริมด้วยเมทไธโอนีนสามารถทดแทนปลาป่นได้สูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอาหารเลี้ยงปลานิลวัยรุ่น สอดคล้อง

ผลการทดลองของ Viola และ Zohar (1984) ซึ่งรายงานว่าสามารถแทนที่ปลาป่นได้สูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ผลพลอยได้จากสัตว์ปีกป่นที่ใช้เลี้ยงปลานิลลูกผสม

อย่างไรก็ตามโปรตีนจากพืชเป็นแหล่งโปรตีนที่มีราคาถูกและหาง่ายกว่าวัตถุดิบจากสัตว์ ดังนั้นจึงมีการศึกษาวิจัยเพื่อหาโปรตีนจากพืชที่สามารถทดแทนโปรตีนจากปลาป่นหรือโปรตีนจากสัตว์ได้ทั้งหมดหรือเกือบหมด ซึ่งถั่วเหลืองจะเป็นวัตถุดิบที่ใช้ได้ดีมากที่สุดแต่ไม่สามารถใช้แทนที่ได้ทั้งหมด เช่น การทดลองของ Abdelghany (1997) พบว่าการใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองที่เข้มข้น ปลานิลสามารถย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้โปรตีนจากปลากะตัก (anchovy) เสียอีก นอกจากนั้น Viola และคณะ (1988b) ทดลองใช้ถั่วเหลืองป่นแทนปลาป่นและเสริมด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็น พบว่าปลานิลกลุ่มที่ใช้ถั่วเหลืองป่นเสริมด้วยไดแคลเซียมฟอสเฟต (dicalcium phosphate) 3 เปอร์เซ็นต์ เจริญเติบโตได้ดีกว่าปลานิลกลุ่มควบคุม (ใช้โปรตีนจากปลาป่นและไม่เสริมกรดอะมิโน) ส่วนกลุ่มที่ใช้ถั่วเหลืองป่นแต่ไม่เสริมกรดอะมิโนพบว่าโตช้ากว่าปกติ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อใช้ถั่วเหลืองป่นเสริมด้วยไดแคลเซียมฟอสเฟตและไขมัน 2 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปลานิลจะโตได้ไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุมที่ใช้ปลาป่นธรรมดา และ Shiau และคณะ (1987) ทดลองในปลานิลลูกผสมพบว่าการใช้ถั่วเหลืองป่นในระดับต่ำ (24 เปอร์เซ็นต์ ในอาหาร) เป็นระดับที่เหมาะสมสามารถทดแทนการใช้ปลาป่นได้ และพบว่าการเจริญเติบโตของปลานิลจะไม่ดีเมื่อใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองในระดับ 32 เปอร์เซ็นต์ในอาหารโดยไม่มีการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน ต่อมา Shiau และคณะ (1990) สรุปว่าการใช้ถั่วเหลืองป่นทั้งที่มีไขมันหรือไม่มีไขมัน (จากการสกัดด้วยเฮกเซน) สามารถใช้ทดแทนการใช้โปรตีนจากปลาป่นที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ ได้ดี

เมื่อใช้ถั่วเหลืองป่นในระดับสูงๆ ในการเตรียมอาหารสัตว์น้ำพบว่า ในถั่วเหลืองจะมีสารต้านโภชนาการ (anti-nutritional factor) โดยเฉพาะสารยับยั้งทริพซิน (trypsin inhibitor) ดังนั้นเพื่อที่จะทำลายสารยับยั้งทริพซินในการใช้ถั่วเหลืองป่นที่มีไขมันสูงๆ มาทำอาหาร Wee และ Shu (1989) จึงนำถั่วเหลืองป่นไปต้มเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และปรับระดับของปริมาณถั่วเหลืองป่นที่ใช้ในการเตรียมอาหารปลานิล (*O. niloticus*) ทั้งที่ต้มและไม่ต้ม พบว่าถั่วเหลืองป่นที่ต้มแล้วจะสามารถทำลายสารยับยั้งทริพซินได้ซึ่งจะทำให้ปลานิลโตได้ดีเมื่อใช้อาหารในอัตราส่วนของถั่วเหลืองป่นสูงที่สุดที่ 58.3 กรัมต่ออาหาร 100 กรัม Tacon และคณะ (1983) พบว่าสามารถใช้กากถั่วเหลืองผสมกับขนสัตว์ป่นเสริมด้วยกรดอะมิโนทดแทนปลาป่นได้ทั้งหมดในการเตรียมอาหาร ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นอาหารเลี้ยงปลานิลได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้นยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ถั่วเหลืองร่วมกับวัตถุดิบตัวอื่นรวมทั้งการเสริมกรดอะมิโน

บางตัวเพื่อผลิตอาหารเลี้ยงปลานิล เช่น การศึกษาของ El-Dahhar และ El-Shazly (1993) เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของปลานิล (*O. niloticus*) โดยใช้อาหารที่มีโปรตีน 28 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาหารประกอบด้วยส่วนผสมดังนี้

- อาหารที่มีส่วนผสมของปลาป่น ถั่วเหลืองป่นและเมล็ดฝ้ายป่น
- ถั่วเหลืองป่นและเมล็ดฝ้ายป่น
- ถั่วเหลืองป่นและเมล็ดฝ้ายป่นเสริมด้วยไลซีนและเมทไธโอนีน
- ถั่วเหลืองป่นและเมล็ดฝ้ายป่นเสริมด้วยไลซีน เมทไธโอนีน และน้ำมัน 3.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์

พบว่าการเจริญเติบโตจะลดลงเมื่อปลานิลได้รับอาหารที่ไม่มีปลาป่นเป็นส่วนผสมในอาหารที่ไม่มีการเสริมด้วยกรดอะมิโน และปลาจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อได้รับอาหารที่มีถั่วเหลืองป่น และเมล็ดฝ้ายป่นเสริมด้วยไลซีน เมทไธโอนีน และน้ำมัน 3.5 เปอร์เซ็นต์ (saponified oil)

ปลานิลจัดเป็นปลาที่มีความสามารถในการย่อยและใช้ประโยชน์จากโปรตีนจากพืชได้ดีกว่าและมีประสิทธิภาพมากกว่าปลาชนิดอื่นๆ (Degani and Revach, 1991) ด้วยเหตุนี้การใช้โปรตีนจากพืชในระดับสูงๆ เพื่อทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในอาหารปลานิลจึงเป็นไปได้ Wee และ Wang (1987) ทดลองใช้ใบกระถินป่น เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสำหรับปลานิล (*O. niloticus*) ขนาด 2 กรัม พบว่าสามารถใช้ใบกระถินป่นที่แช่น้ำจืดอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงและตากแดด 12 ชั่วโมง ได้ 25 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารดีที่สุด Viola และคณะ (1983) ทดลองใช้มันสำปะหลังอัดเม็ดสำหรับเลี้ยงปลานิลลูกผสม (*O. aureus* x *O. niloticus*) ขนาด 250 กรัม โดยผลิตอาหารทดสอบที่มีระดับโปรตีนประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ และมีพลังงาน (GE) 400 กิโลคาลอรีต่อ 100 กรัม พบว่าการใช้มันสำปะหลังอัดเม็ดในอาหาร 30 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม Davies และคณะ (1990) ทดลองใช้เรพซีด (rapeseed meal) เป็นองค์ประกอบในอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิล (*O. mossambicus*) ขนาด 0.33 กรัม โดยผลิตอาหารที่มีระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ และมีพลังงาน (DE) 360 กิโลคาลอรีต่อ 100 กรัม ผลการทดลองพบว่าสามารถใช้เรพซีด ได้ไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารเพื่อทดแทนถั่วเหลืองและพบว่าผลการเจริญเติบโตของปลานิลไม่แตกต่างจากชุดควบคุมและยังพบว่าถ้าใช้เรพซีดเป็นองค์ประกอบในอาหารเกิน 15 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพของต่อมไทรอยด์ ส่วนการศึกษาของ El Sayed (1992) ที่ใช้เฟิร์นน้ำจืด (*Azolla*

*pinnata*) ทดลองเลี้ยงปลานิล (*O. niloticus*) ขนาด 2.54 กรัม และ 40.33 กรัม พบว่าสามารถใช้ *Azolla pinnata* ได้ 30 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารซึ่งสามารถทดแทนปลาป่นได้ 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่เหมาะสมเมื่อเทียบการใช้ *Azolla pinnata* ทดแทนปลาป่นที่ระดับ 50, 70 และ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ผลการเจริญเติบโตของปลานิลทั้ง 2 ขนาดต่ำกว่าชุดควบคุมที่ใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนOmoregie และ Ogbemudia (1993) ใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มป่น (palm kernel meal) ทดลองเลี้ยงปลานิล (*O. niloticus*) ขนาด 2.57 กรัม พบว่าสามารถใช้กากปาล์มในสูตรอาหารได้ 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถทดแทนปลาป่นได้ 37.5 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าการเจริญเติบโตดีกว่าชุดควบคุมที่ใช้ปลาป่น 40 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร Pouomogne และคณะ (1997) ผลิตอาหารที่มีโปรตีน 28 เปอร์เซ็นต์ มีพลังงาน (GE) 480 กิโลคาลอรีต่อ 100 กรัม เพื่อใช้เลี้ยงปลานิล (*O. niloticus*) ขนาด 1.40 กรัม โดยใช้เปลือกโกโก้ (cacao-husks) ทดแทนแป้งข้าวโพด รำสาลีและรำข้าว ในระดับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร พบว่าที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการเจริญเติบโตดีที่สุด แสดงให้เห็นว่าน่าจะใช้เปลือกโกโก้เป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิตอาหารเลี้ยงปลานิลได้มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ Belal และAl-Jasser (1997) พบว่าสามารถใช้เม็ดอินทผลัม (pitted date fruit) 30 เปอร์เซ็นต์ ทดแทนแป้งข้าวโพดและปลาป่น 66 เปอร์เซ็นต์ และ 2.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลิตอาหารเลี้ยงปลานิล (*O. niloticus*) ที่มีระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ และพลังงาน (GE) 370 กิโลคาลอรีต่อ 100 กรัม ให้ผลการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อเทียบกับชุดที่มีเม็ดอินทผลัมในอาหาร 0, 15 และ 45 เปอร์เซ็นต์ Al-Hafedh และ Siddiqui (1998) ใช้กระจับ (guar seed) เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นผลิตอาหารที่มีระดับโปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์ และพลังงาน (DE) 350 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม พบว่าสามารถใช้กระจับทดแทนปลาป่นได้สูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ Belal (1999) ใช้ข้าวบาร์เลย์แทนข้าวโพด 0, 15, 30 และ 51 เปอร์เซ็นต์ ผลิตอาหารที่มีโปรตีนและพลังงาน (GE) เท่ากันคือ 30 เปอร์เซ็นต์ และ 410 กิโลคาลอรีต่อ 100 กรัม ตามลำดับ พบว่าที่ระดับ 15 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการเจริญเติบโตดีกว่าที่ชุดควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์) และ 51 เปอร์เซ็นต์

การใช้วัตถุดิบพืชเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารสัตว์น้ำ สามารถใช้ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น เนื่องจากโปรตีนจากพืชมีคุณค่าทางอาหารต่ำกว่าปลาป่น และสัตว์น้ำมีความสามารถในการใช้วัตถุดิบพืชเป็นแหล่งโปรตีนได้ต่ำกว่าปลาป่น เมื่อใช้วัตถุดิบพืชเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารในปริมาณที่สูง สัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำ รวมทั้งอาจมีการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพเนื่องจากพืชมีปัจจัยจำกัด กล่าวคือ มีความไม่สมดุลของสารอาหารสำหรับสัตว์น้ำ เช่น มีกรดอะมิโนเมทไธโอนีน และไลซีน ใน

ปริมาณต่ำ มีสารต้านโภชนาการ (anti-nutritional factor) เช่น สารยับยั้งทริพซิน โกสสิโพล (gossypol) กรดไขมันไซโคลโพรเพน (cyclopropene fatty acid) และมิโมซีน (mimosine) เป็นต้น นอกจากนั้นแหล่งวัตถุดิบพืชยังมีเยื่อใยสูง และถ้าใช้วัตถุดิบพืชระดับสูงในอาหารจะลดความน่ากินของอาหารและมีผลต่อคุณภาพเม็ดอาหาร ถึงแม้วัตถุดิบพืชที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำจะส่งผลด้านลบต่อสัตว์น้ำบ้าง แต่วัตถุดิบพืชก็มีราคาถูกและหาได้ง่ายกว่า จึงพยายามพัฒนาการใช้วัตถุดิบพืชเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารในระดับที่เหมาะสมร่วมกับการใช้ปลาป่น หรือวัตถุดิบสัตว์ชนิดอื่นๆ จะเป็นการช่วยลดต้นทุนในอาหารสัตว์น้ำลงได้

การใช้วัตถุดิบพืชเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์น้ำ ควรพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการย่อยและการใช้สารอาหารของสัตว์น้ำแต่ละชนิด เช่น ปลานิลเป็นปลาที่สามารถใช้อาหารที่เป็นวัตถุดิบพืชได้ดีกว่าปลาอื่นๆ นอกจากนั้นจะต้องเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่าย ราคาถูก คุณค่าทางอาหารของวัตถุดิบพืชและระดับการยอมรับวัตถุดิบพืชของสัตว์น้ำ เพื่อให้การใช้วัตถุดิบพืชเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์น้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จะทำให้สามารถลดปริมาณการใช้ปลาป่นลง เป็นการลดต้นทุนการผลิตอาหาร เพิ่มผลกำไรในการผลิตได้มากขึ้น ซึ่งการใช้วัตถุดิบพืชในระดับที่เหมาะสมในการผลิตอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลได้แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ชนิดและผลของวัตถุดิบทดแทนโปรตีนต่ออัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพของการใช้อาหารของปลานิล

| ชนิดของวัตถุดิบ | ปริมาณของวัตถุดิบในอาหาร (%) | ระดับโปรตีนในอาหาร (%) | ชนิดของปลานิล | ขนาดของปลานิล (กรัม) | อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพของการใช้อาหาร | เอกสารอ้างอิง |
|---|---|---|---|---|---|---|
| กากเนื้อเมล็ดในปาล์มปน (Palm kernel meal) | 15 | 28.56 | *O. niloticus* | 2.57 | WG = 130.31<br>SGR = 0.74<br>FCR = 0.86<br>PER = 0.58 | Omoregie และ Ogbemudia (1993) |
| เฟิร์นน้ำจืด (*Azolla pinnata*) | 25 | 30 | *O. niloticus* | 40.33 | WG = 67<br>SGR = 0.72<br>FCR = 0.34<br>PER = 1.11 | El Sayed (1992) |
| กากแมคาเดเมีย (Macadamia press cake) | 50 | 28 | *O. niloticus* | 10.4 | WG = 704.7<br>SGR = 2.09<br>FCR = 1.98<br>PER = 1.75 | Balogun และ Fagbenro (1995) |
| เนื้อของผลกาแฟ (Coffee pulp) | 13 | 37 | *O. aureus* | 7.0 | WG = 347<br>FCR = 1.46<br>PER = 1.94 | Rojas และ Weerd (1997) |
| เปลือกโกโก้ (Cacao husks) | 20 | 28 | *O. niloticus* | 1.40 | WG = 870.8<br>SGR = 2.5<br>FCR = 1.95<br>PER = 1.83 | Pouomogne และคณะ (1997) |

ตารางที่ 7 (ต่อ)

| ชนิดของวัตถุดิบ | ปริมาณของวัตถุดิบในอาหาร (%) | ระดับโปรตีนในอาหาร (%) | ชนิดของปลานิล | ขนาดของปลานิล (กรัม) | อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพของการใช้อาหาร | เอกสารอ้างอิง |
|---|---|---|---|---|---|---|
| เม็ดอินทผลัม (Date fruit) | 30 | 30 | *O. niloticus* | 2.5 | WG = 405.1<br>SGR = 2.57<br>FCR = 1.19<br>PER = 2.79 | Belal และ Al-Jasser (1997) |
| เม็ดกระจับ (Guar seed) | 50 | 32 | *O. niloticus* | 6.9 | WG = 639<br>SGR = 2.36<br>FCR = 1.64<br>PER = 1.91 | Al-Hafedh และ Siddiqui (1998) |
| ข้าวบาร์เลย์ (Barley seeds) | 30 | 30 | *O. niloticus* | 3.5 | WG = 317<br>SGR = 2.26<br>FCR = 1.16<br>PER = 2.87 | Belal (1999) |

**หมายเหตุ :** WG = เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น คำนวณจากสูตร 100x [น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น/ น้ำหนักปลาเริ่มต้น]

SGR = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ คำนวณจากสูตร 100 x [ln น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - ln น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง] / เวลา (วัน)

FCR = อัตราแลกเนื้อ คำนวณจากสูตร น้ำหนักอาหารทั้งหมด / น้ำหนักปลาทั้งหมด

PER = ประสิทธิภาพของโปรตีน คำนวณจากสูตร น้ำหนักปลาทั้งหมด / น้ำหนักโปรตีนที่กิน

**7. ประสิทธิภาพการย่อยอาหาร**

ประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลาเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอาหารที่ปลาได้รับกับปริมาณสารอาหารที่ถูกย่อยและดูดซึม

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ประสิทธิภาพการย่อยอาหารแท้จริง (true digestibility) เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา ที่มีการพิจารณาถึงปริมาณของสารภายในตัวปลา (endogenous material) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไนโตรเจน เช่น เอนไซม์ เปปไทด์ (peptide) เซลล์บุผิว (epithelial cell) ที่ถูกขับออกมาพร้อมกับมูลปลา ในการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารแท้จริง จะให้ปลากินอาหารที่ไม่มีสารประกอบไนโตรเจน เพื่อใช้ประเมินค่าสารประกอบไนโตรเจนในตัวปลาซึ่งถูกขับออกมาพร้อมมูล

2. ประสิทธิภาพการย่อยอาหารเสมือน (apparent digestibility) จะไม่นำค่าสารประกอบไนโตรเจนภายในตัวปลาซึ่งถูกขับออกมาพร้อมกับมูลปลา มาใช้ในการคำนวณค่าประสิทธิภาพการย่อยอาหาร (Lovell,1988)

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลามี 2 วิธี คือ

1. วิธีตรง (direct method) เป็นการวัดสารอาหารทั้งหมดที่ปลากินเข้าไปและขับออกมาในมูลปลาโดยตรง มีการประเมินค่าประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลาโดยใช้สมการ (Lovell, 1988)

$$\text{ประสิทธิภาพการย่อย(\%)} = \frac{(\text{ปริมาณอาหารที่ปลากิน} - \text{ปริมาณอาหารที่ขับออกมาในมูลปลา}) \times 100}{\text{ปริมาณอาหารที่ปลากิน}}$$

2. วิธีอ้อม (indirect method) เป็นการใช้อินดิเคเตอร์หรือเครื่องหมาย (indicator or marker) เติมไปในอาหาร แล้วหาสัดส่วนของสารอาหารต่ออินดิเคเตอร์ที่มีในอาหารและในมูลปลา สมการที่ใช้ในการประเมินค่าประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลาด้วยวิธีการนี้ คือ (Lovell, 1988)

$$\text{ประสิทธิภาพการย่อย (\%)} = 100 - \left[ \frac{\text{ปริมาณอาหารที่ปลากิน}}{\text{ปริมาณอาหารในมูลปลา}} \times \frac{\text{ปริมาณอินดิเคเตอร์ในมูล}}{\text{ปริมาณอินดิเคเตอร์ในอาหาร}} \times 100 \right]$$

สำหรับอินดิเคเตอร์ที่ใช้ควรมีคุณสมบัติ คือ ปลาไม่สามารถย่อยได้ คุณสมบัติทางเคมีไม่เปลี่ยนแปลง ไม่เป็นพิษต่อปลา ง่ายต่อการตรวจสอบ และมีอัตราการเคลื่อนที่ในทางเดินอาหารเช่นเดียวกับอาหารที่ปลากิน (Lovell, 1988)

De Silva และ Anderson (1995) แบ่งอินดิเคเตอร์ออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. อินดิเคเตอร์ภายนอก (external indicator) เช่น $Cr_2O_3$ , FeO, $SiO_2$ , polypropylene เป็นต้น โดยนิยมใช้ $Cr_2O_3$ เป็นอินดิเคเตอร์ในการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา

2. อินดิเคเตอร์ภายใน (internal indicator) ใช้สารที่มีอยู่ในอาหารธรรมชาติเป็นอินดิเคเตอร์ในการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา ได้แก่ crude fiber ซึ่งมีเซลลูโลส (cellulose) และลิกนิน (lignin) เป็นส่วนประกอบหลัก hydrolysis-resistant organic matter ที่มีเซสลูโลสเป็นส่วนใหญ่ และ hydrolysis-resistant ash ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น mineral ash ที่ทนทานต่อการย่อยด้วยกรด

วิธีการเก็บรวบรวมมูลปลามีความสำคัญต่อการประเมินประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา เนื่องจากมูลของปลาอยู่ในน้ำทำให้มูลบางส่วนอาจละลายน้ำ และสารอาหารละลายออกมา เมื่อนำไปวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการ พบว่า สารอาหารในมูลมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลามีค่าสูงเกินจริง วิธีการเก็บมูลปลาเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลามีดังนี้ (วีรพงศ์, 2536)

1. การตัดลำไส้ (intestinal dissection) โดยตัดส่วนปลายลำไส้เหนือช่องทวารขึ้นมาประมาณ 2.5 เซนติเมตร หรือมากกว่าเล็กน้อย (ขึ้นกับชนิดของปลา) เนื่องจากเป็นบริเวณที่เสร็จสิ้นการย่อยอาหารแล้ว พร้อมจะขับถ่ายออกนอกตัวปลา

2. การดูดช่องทวาร (anal suction) วิธีนี้มีอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นแก้ว (glass cannula) และมีปั๊มดูดอากาศ เพื่อดูดมูลของปลาออกมาจากช่องทวารโดยไม่ต้องฆ่าปลา

3. การรีด (stripping) ทำได้โดยการจับปลามารีดบริเวณท้องและช่องทวารเพื่อให้มูลออกมา

4. การรวบรวมในน้ำ (collection from water column) วิธีนี้ต้องปล่อยให้ปลาถ่ายมูลออกมาตามปกติ แล้วทำการรวบรวมมูลทันที วิธีการเก็บมูลอาจแตกต่างกันไป ตั้งแต่การใช้ผ้าตาถี่หรือตะแกรงตาถี่รองอยู่ด้านล่างตู้ทดลอง โดยเมื่อปลาถ่ายมูลออกมา ก็สามารถยกผ้าหรือตะแกรงออกหรืออาจใช้สายอากาศพลาสติกขนาดเล็กเข้าไปดูด หรือกาลักน้ำให้มูลปลาออกมา หรืออาจใช้เครื่องเก็บมูลอัตโนมัติ เป็นต้น

Spyridakis และคณะ (1989) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการเก็บรวบรวมมูลปลาเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลากะพงยุโรป (European sea bass, *Dicentrachus labrax*) โดยมีวิธีการเก็บรวบรวม คือ การตัดลำไส้ (dissection) การดูดช่องทวารหนัก (anal suction) การรีด (stripping) และการเก็บรวบรวมมูลปลาจากในน้ำ 3 วิธี คือ เก็บรวบรวมมูลปลาหลังจากให้อาหาร 15 ชั่วโมง (immediate pipetting) การกรองมูล (continuous filtration) และการเก็บรวบรวมโดยใช้อุปกรณ์รวบรวมมูลโดยให้มูลตกตะกอนและแยกมูลปลาออกจากน้ำ (decantation) พบว่าการรวบรวมโดยให้มูลปลาตกตะกอนและแยกมูลปลาออกจากน้ำเป็นวิธีการเก็บมูลที่เหมาะสมต่อการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา เมื่อพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนและค่าประสิทธิภาพการย่อยไขมัน (ตารางที่ 8) แต่อย่างไรก็ตามวิธีการกรองมีข้อดีเนื่องจากปลาถูกรบกวนน้อยกว่า

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพการย่อย (apparent digestibility) โปรตีนและไขมัน ของปลาเมื่อใช้การเก็บรวบรวมมูลปลาด้วยวิธีการต่าง ๆ

| วิธีการเก็บรวบรวมมูลปลา | ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน | ประสิทธิภาพการย่อยไขมัน |
|---|---|---|
| การรีด | $82.5\pm1.4^{a}$ | $94.1\pm0.8^{a}$ |
| การตัดลำไส้ | $84.4\pm0.8^{ab}$ | $95.0\pm0.4^{ab}$ |
| การดูดช่องทวาร | $86.6\pm0.3^{b}$ | $96.3\pm0.4^{b}$ |
| การกรอง | $90.4\pm0.6^{c}$ | $93.0\pm0.2^{b}$ |
| การรวบรวมมูลปลาหลังให้อาหาร 15 ชั่วโมง | $90.6\pm0.3^{c}$ | $97.3\pm0.2^{b}$ |
| การรวบรวมโดยให้มูลปลาตกตะกอนและแยกมูลปลาออกจากน้ำ | $94.2\pm0.1^{d}$ | $97.1\pm0.3^{b}$ |

ที่มา : Spyridakis และคณะ (1989)

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสมของระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิล และปฏิกิริยาร่วม (interaction) ระหว่างระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและระดับพลังงานที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิล ประสิทธิภาพของอาหาร คุณภาพซาก (carcass quality) องค์ประกอบของเลือด และการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อวิทยา

2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยอาหารที่มีส่วนประกอบของ กากเนื้อเมล็ดในปาล์ม ของปลานิล

3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนอาหารต่อผลผลิตปลานิล ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์ม สูตรต่าง ๆ

# บทที่ 2

## วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

### วัสดุ

**1. พันธุ์ปลานิล**

ลูกปลานิลเพศผู้สายพันธุ์จิตรลดา 2 (genetically male tilapia : GMT) น้ำหนักเฉลี่ย 2 กรัม จากศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดจังหวัดสุราษฎร์ธานี กรมประมง

**2. สารเคมี**

2.1 สารเคมีที่ใช้สำหรับเตรียมอาหารทดลอง (ตารางที่10)

2.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการของร่างกายปลานิล และ อาหารทดลอง (ภาคผนวก ก)

2.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบเลือดของปลานิล (ภาคผนวก ก)

2.4 สารเคมีสำหรับการศึกษาด้านเนื้อเยื่อวิทยาปลานิล (ภาคผนวก ก)

2.5 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์โครมิคออกไซด์ (ภาคผนวก ก)

2.6 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (ภาคผนวก ก)

2.7 สารเคมีสำหรับการป้องกันและรักษาโรคปลา ได้แก่ ออกซีเตตราไซคลิน (oxytetracycline) ฟอร์มาลิน (formalin) มาลาไคท์กรีน (malachite green) ยาสลบ (2-phenoxyethanol)

**3. อาหารสำหรับอนุบาลลูกปลาก่อนเริ่มต้นทดลอง**

การเตรียมอาหารสำหรับอนุบาลลูกปลาก่อนเริ่มการทดลองอ้างอิงจากวุฒิพร และคณะ (2540)

อุปกรณ์

**1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเลี้ยงปลาทดลอง**

1.1 ถังไฟเบอร์กลาส ปริมาตร 2.0 ลูกบาศก์เมตร

1.2 ตู้กระจกทดลองขนาด 100 x 50 x 47 เซนติเมตร ปิดด้านข้างและด้านหลังตู้กระจกทดลองด้วยแผ่นพลาสติกสีทึบทั้ง 3 ด้าน เพื่อลดการรบกวนปลาทดลองจากภายนอก

1.3 อุปกรณ์ระบบให้อากาศ ประกอบด้วยเครื่องให้อากาศ สายยาง หัวทราย

1.4 อุปกรณ์เปลี่ยนถ่ายน้ำได้แก่ สายยาง เครื่องปั๊มน้ำชนิดจุ่ม (submasible pump)

1.5 อุปกรณ์ขนย้ายปลา ได้แก่ สวิงช้อนปลา ขันพลาสติก

**2. อุปกรณ์เตรียมอาหารทดลอง**

2.1 เครื่องเตรียมอาหารทดลอง ของ Hobart Model A 200 T ประกอบด้วย ชุดเครื่องผสมอาหารแบบมีใบพัด และชุดเครื่องอัดเม็ดอาหาร

2.2 อุปกรณ์ชั่งตวงวัสดุอาหาร ได้แก่ เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง ของ Satorius รุ่น Basic เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ของ Satorius รุ่น Research กระบอกตวง บีกเกอร์ ถาดเตรียมอาหาร

2.3 ตู้แช่แข็ง ใช้เพื่อเก็บอาหารทดลองระหว่างรอนำมาใช้

**3. อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพน้ำ**

3.1 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิน้ำ คือ เทอร์โมมิเตอร์

3.2 อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen, DO) คือ เครื่อง DO meter ของ YSI model 57

3.3 อุปกรณ์วัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH) คือ เครื่อง pH meter ของ Mettler Delta รุ่น 340

3.4 อุปกรณ์เครื่องแก้วสำหรับวิเคราะห์ค่าความเป็นด่าง (alkalinity) ได้แก่ ขวดรูปชมพู่ บีกเกอร์ กระบอกตวง ปิเปต ลูกยาง ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ

**4. อุปกรณ์วิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของอาหารทดลองและร่างกายของปลา**

4.1 อุปกรณ์วิเคราะห์ความชื้น ได้แก่ ขวดชั่ง (weighing bottle) ตู้อบ (hot air oven) ของ Memmert โถอบแห้ง (desiccator) เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง

4.2 อุปกรณ์วิเคราะห์โปรตีน ได้แก่ เครื่องย่อย (digestion apparatus) ของ Gerhardt รุ่น Kjeldatherm เครื่องกลั่น (distillation apparatus) ของ Gerhardt รุ่น Vapodest I หลอดย่อยโปรตีน (digestion tube) กระบอกตวง บีกเกอร์ บิวเรต และขวดรูปชมพู่

4.3 อุปกรณ์วิเคราะห์เถ้า ได้แก่ ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (crucible) เตาเผา (muffle furnace) ของ Gallenkamp โถอบแห้ง (desiccator) เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง

4.4 อุปกรณ์วิเคราะห์ไขมัน ได้แก่ ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ไขมัน รุ่น Soxtec System HT6 ไส้กรองสาร ถ้วยสกัดสาร ตู้อบ โถอบแห้ง เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง

**5. อุปกรณ์ศึกษาพยาธิวิทยาของเนื้อเยื่อ**

5.1 ชุดอุปกรณ์ผ่าตัด

5.2 เครื่องเตรียมเนื้อเยื่ออัตโนมัติ (automatic tissue processor) ของ Technicon Corporation รุ่น Autotechnicon Mono MOD. 2A

5.3 เครื่องตัดชิ้นเนื้อเยื่อ ของ Jung AG Heidelberg ตู้อบ อ่างน้ำอุ่น (warm bath) เตาร้อน (hot plate) สไลด์

5.4 กล้องถ่ายภาพของ Olympus รุ่น AX 70 และกล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบของ Olympus รุ่น C-35 AD

**6. อุปกรณ์วิเคราะห์องค์ประกอบเลือด**

6.1 อุปกรณ์เก็บเลือดปลา ได้แก่ เข็มขนาด 25G และหลอดฉีดยา ขนาด 1 มิลลิลิตร ที่ผ่านการเคลือบสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (EDTA)

6.2 อุปกรณ์แยกพลาสมา ได้แก่ เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ไมโครปิเปต

6.3 สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer)

7. อุปกรณ์วิเคราะห์โครมิคออกไซด์ในอาหารและมูลปลา

7.1 อุปกรณ์เก็บมูลปลา ได้แก่ สายยาง ถุงผ้าขาวบาง

7.2 อุปกรณ์วิเคราะห์โปรตีน เช่นเดียวกับข้อ 4.2

7.3 สเปคโตรโฟโตมิเตอร์

8. อุปกรณ์สำหรับตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา

ประกอบด้วย เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง ถังน้ำบรรจุ 20 ลิตร ถังพลาสติก ขนาด 3 ลิตร กะละมังพลาสติก และสวิงช้อนปลา

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

ใช้ตู้กระจกขนาด 100 x 50 x 47 เซนติเมตรความจุน้ำ 235 ลิตร (หน่วยทดลอง) ทำความสะอาด และติดตั้งอุปกรณ์ให้อากาศให้พร้อมสมบูรณ์แล้วเติมน้ำประปาที่ปราศจากคลอรีน ให้ได้ปริมาตร 120 ลิตร ปิดตู้ด้วยผ้าพลาสติกสีทึบ 3 ด้านเพื่อป้องกันการถูกรบกวนขณะทำการทดลอง

2. การเตรียมสัตว์ทดลอง

นำลูกปลานิลที่ได้จากพ่อแม่พันธุ์ชุดเดียวกันจำนวน 3,000 ตัวมาอนุบาลในถังไฟเบอร์กลาส ขนาดความจุ 2 ลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อให้สามารถปรับสภาพให้เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมของการวิจัย และฝึกหัดให้กินอาหารที่มีลักษณะใกล้เคียงกับอาหารทดลองวันละ 3 ครั้งคือเวลา 8.30 น. 12.30 น. และ 16.30 น. สังเกตพฤติกรรมการยอมรับอาหาร ก่อนเริ่มการทดลองนำลูกปลาไปตรวจสอบการติดเชื้อแบคทีเรียและปรสิตภายนอก ลูกปลาที่ใช้ทดลองต้องมีสุขภาพดี ไม่มีโรคใดๆ ทำการคัดปลาใส่ตู้ทดลองขนาด 100 x 50 x 47 เซนติเมตร ปริมาตรน้ำ 120 ลิตร จำนวน 30 ตัวต่อตู้ ปรับสภาพปลาให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมของตู้และอาหารทดลองเป็นเวลา 7 วัน หลังจากปลาคุ้นเคยกับสภาพตู้และอาหารทดลองแล้ว ทำการชั่งหาน้ำหนักเริ่มต้นของปลา ชั่งโดยวิธีการแทนที่น้ำ

**3. การเตรียมอาหารทดลอง**

คำนวณสูตรอาหารให้มีระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ ทุกชุดการทดลอง แต่ให้มีระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์ม และระดับพลังงานที่แตกต่างกัน 9 สูตร โดยปรับระดับโปรตีนจากการปรับลดระดับของปลาป่น กากถั่วเหลืองป่นและรำละเอียดในสูตรอาหารที่มีระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มเพิ่มขึ้น ส่วนการเพิ่มระดับของพลังงาน (พลังงานที่ย่อยได้; digestible energy) ใช้การเติมน้ำมันปลาและน้ำมันพืช (ในสัดส่วน 1:1) ในสูตรอาหาร โดยมีระดับพลังงาน 3 ระดับคือ 3,300, 3,600 และ 3,900 กิโลคาลอรีต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ค่าพลังงานที่ย่อยได้ในอาหารคำนวณโดยใช้ค่าต่างๆ ซึ่งประยุกต์มาจากค่าที่ใช้ในปลานิลคือ 4.4 กิโลคาลอรีต่ออาหาร 1 กิโลกรัมสำหรับโปรตีน 9.0 กิโลคาลอรีต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สำหรับไขมัน และ 3.7 กิโลคาลอรีต่ออาหาร 1 กิโลกรัมสำหรับคาร์โบไฮเดรต (Stickney, 1979)

วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของวัสดุอาหารที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารทดลอง โดยวิธี AOAC (1985) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 9

วิธีการเตรียมอาหารทดลองโดยชั่งวัสดุอาหารแต่ละอย่างได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด กากเนื้อเมล็ดในปาล์ม น้ำมันปลา น้ำมันพืช เซลลูโลส วิตามินและแร่ธาตุ ตามสูตรที่คำนวณไว้ (ตารางที่ 10) ผสมส่วนประกอบวัสดุอาหารให้เข้ากันดีด้วยเครื่องผสมอาหาร ในการเตรียมน้ำมันต่างๆ โดยการผสมน้ำมันปลา:น้ำมันพืช ในอัตราส่วน 1:1 ชั่งน้ำมันผสมตามปริมาณที่ต้องการผสมในอาหารแต่ละสูตร ส่วนในการเตรียมวิตามินและแร่ธาตุ โดยชั่งวิตามินและแร่ธาตุแต่ละตัวด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าที่ความละเอียดทศนิยม 5 ตำแหน่ง จากนั้นนำแร่ธาตุมาบดให้ละเอียด ผสมให้ทุกส่วนเข้ากันดี สำหรับวิตามินซี และวิตามินละลายน้ำตัวอื่นๆ นำมาละลายน้ำ 300 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้นำไปผสมกับวัสดุอาหารแห้งอื่นๆที่ผสมเข้ากันดีแล้วในเครื่องผสมอาหาร จนวัสดุอาหารแห้งกับน้ำผสมกันดีแล้ว นำไปเข้าเครื่องอัดเม็ดอาหารผ่านหน้าแว่นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร นำอาหารที่เตรียมเสร็จแล้วอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นำไปบรรจุในถุงพลาสติกแล้วเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (วุฒิพร และคณะ, 2540) และตรวจสอบคุณค่าทางโภชนาการของสูตรอาหาร (โปรตีน ไขมัน เยื่อใย ความชื้น และเถ้า) ด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่เตรียมตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1985) ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตหาได้จากการคำนวณตามสูตร 100 - (โปรตีน+ไขมัน+เถ้า+ความชื้น) ก่อนนำไปใช้ในการทดลองเลี้ยง

ตารางที่ 9 ส่วนประกอบทางโภชนาการของวัสดุอาหารโดยการวิเคราะห์[1]

| วัสดุอาหาร | คุณค่าทางโภชนาการ (%) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า | เยื่อใย | คาร์โบไฮเดรต |
| ปลาป่น | 5.06±0.05 | 69.13±1.00 | 18.17±0.92 | 14.84±0.09 | - | - |
| กากถั่วเหลือง | 8.01±0.19 | 44.95±0.87 | 5.55±0.34 | 6.64±0.02 | 5.12±0.11 | 29.72±0.85 |
| รำละเอียด | 6.97±0.18 | 14.58±0.25 | 20.18±0.55 | 12.51±0.04 | 6.45±0.39 | 39.31±0.90 |
| แป้งข้าวเจ้า | 10.88±0.51 | 6.82±0.60 | 0.52±0.33 | 0.31±0.02 | 0.13±0.11 | 81.34±1.20 |
| กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน | 3.92±0.05 | 15.63±0.08 | 9.77±0.19 | 4.51±0.03 | 14.42±0.77 | 51.74±0.83 |

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

ตารางที่ 10 ส่วนประกอบของอาหารทดลองแต่ละสูตร

| ส่วนประกอบ | สูตรอาหาร | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ก. / อาหาร 100 ก. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| กากปาล์ม | 0 | 0 | 0 | 15 | 15 | 15 | 30 | 30 | 30 |
| ปลาป่น | 17 | 17 | 17 | 15 | 15 | 15 | 14 | 14 | 14 |
| กากถั่วเหลือง | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 |
| รำละเอียด | 15 | 15 | 15 | 10 | 10 | 10 | 5 | 5 | 5 |
| แป้งข้าวเจ้า | 22 | 22 | 22 | 15 | 15 | 15 | 5 | 5 | 5 |
| น้ำมันผสม | 0 | 3.33 | 6.66 | 0.02 | 3.35 | 6.68 | 0.64 | 3.97 | 7.3 |
| วิตามินผสม* | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| แร่ธาตุผสม** | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| โครมิกซ์ออกไซด์ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| สารเหนียว (CMC) | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| เซลลูโลส | 7.8 | 4.47 | 1.14 | 6.78 | 3.45 | 0.12 | 7.16 | 3.83 | 0.5 |

* วิตามินผสม (ปริมาณ/อาหาร1 กก.) ประกอบด้วย Thiamine ($B_1$) 10 มิลลิกรัม; Riboflavin ($B_2$) 20 มิลลิกรัม; Pyridoxine ($B_6$) 10 มิลลิกรัม; Cabolamin ($B_{12}$) 2 มิลลิกรัม; Retinal (A) 4 มิลลิกรัม; Cholecalciferol ($D_3$) 0.4 มิลลิกรัม; Phylloquinone ($K_1$) 80 มิลลิกรัม; Folic acid 5 มิลลิกรัม; Calcium pantothenate 40 มิลลิกรัม; Inositol 400 มิลลิกรัม; Niacin 150 มิลลิกรัม; Tocopherol (E) 60 มิลลิกรัม; Choline 6000 มิลลิกรัม; Ascorbic acid (C) 500 มิลลิกรัม.

** แร่ธาตุผสม (ปริมาณ/อาหาร1 กก.) ประกอบด้วย NaCl 0.25 กรัม; $MgSO_4$ 3.75 กรัม; $KH_2PO_4$ 8 กรัม; $Ca(H_2PO_4)$ 5 กรัม; $FeSO_4$ 0.72 กรัม; $(CH_3COO)_2$ $Ca.5H_2O$ 0.88 กรัม; $ZnSO_4.7H_2O$ 0.088 กรัม; $MnSO_4.4H_2O$ 0.040 กรัม; $CuSO_4.5H_2O$ 0.008 กรัม; $CoCl_2.6H_2O$ 0.00025 กรัม; $KIO_3.6H_2O$ 0.00075 กรัม.

| หมายเหตุ | | |
|---|---|---|
| | วิตามินเอ (vitamin A-palmitate) | 1,750 หน่วยสากลต่อมิลลิกรัม |
| | วิตามินดี (vitamin $D_3$; cholecalciferol) | 40,000 หน่วยสากลต่อมิลลิกรัม |
| | วิตามินอี (vitamin E; DL-α-tocopherol) | 1.1 หน่วยสากลต่อมิลลิกรัม |

**4. แผนการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล**

วางแผนการทดลองแบบ Factorial experiment โดยศึกษา 2 ปัจจัย (Factor) โดยที่แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ โดยมีวิธีการสุ่มและวางแผนการทดลองดังนี้

ให้ Factor A คือ ระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในสูตรอาหาร 0, 15 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ของสูตรอาหาร ใช้สัญลักษณ์ a0, a1 และ a2 แทนตามลำดับ Factor B คือ ระดับพลังงานในสูตรอาหาร 3 ระดับ คือ 3,300 3,600 และ 3,900 กิโลคาลอรีต่ออาหาร 1 กิโลกรัม (digestible energy) ใช้สัญลักษณ์ b0, b1 และ b2 ตามลำดับ จัดชุดการทดลองอยู่ในรูปของ Factorial combination ของปัจจัยที่ศึกษาในกรณีนี้เป็น 3 x 3 factorial ดังนั้น จัด combination ได้ 9 combination ดังนี้

| | | A | | |
|---|---|---|---|---|
| | | a0 | a1 | a2 |
| | b0 | a0b0 = T1 | a1b0 = T4 | a2b0 = T7 |
| B | b1 | a0b1 = T2 | a1b1 = T5 | a0b1 = T8 |
| | b2 | a0b2 = T3 | a1b2 = T6 | a2b2 = T9 |

สุ่มจัดชุดการทดลอง สำหรับหน่วยทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) และจัดให้แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ ทำการสุ่มโดยวิธีจับฉลาก โดยจับหน่วยทดลองทั้งหมด 27 หน่วย

เมื่อเริ่มต้นการทดลองสุ่มปลาส่วนหนึ่งจากถังอนุบาลมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นเก็บปลาชุดดังกล่าวนี้ไว้เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความชื้นของตัวปลา และนำตัวอย่างไปวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวปลาได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1985) ปล่อยปลาในตู้ทดลอง ตู้ละ 30 ตัว ใช้ลูกปลาทั้งหมด 810 ตัวโดยสุ่มปลาที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 2.25 กรัมต่อตัว ชั่งน้ำหนักปลาโดยการแทนที่น้ำ ให้อาหารวันละ 3 ครั้ง คือช่วงเช้าเวลา 8.30 น. ช่วงเที่ยงเวลา 12.30 น.และช่วงเย็นเวลา 16.30 น. โดยให้ปลากินอาหารจนอิ่ม บันทึกน้ำหนักอาหารที่ให้ทุกสัปดาห์ตลอดการทดลอง และตรวจวัดคุณภาพน้ำทุกๆ 2 สัปดาห์ตลอดการทดลองตามวิธีของ Boyd (1990) ได้แก่ค่าความเป็นด่าง (total alkalinity) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ (dissolved oxygen, DO) และอุณหภูมิของน้ำ จดบันทึกไว้เป็นข้อมูลประกอบ

ในการศึกษาความสามารถของการย่อย (digestibility)โดยเลี้ยงปลาด้วยอาหารสูตรเดิม ซึ่งอาหารเหล่านั้นเสริมโครมิกซ์ออกไซด์ ($Cr_2O_3$) 1.0% ในสัปดาห์ที่ 5 และเก็บมูลในสัปดาห์ที่ 8-10 โดยใช้วิธีกาลักน้ำ (Siphoning) ดำเนินการเก็บมูลหลังจากให้อาหาร 1 ชั่วโมง (Shiau and Liang, 1994) ทุกๆ วัน รวบรวมมูลนำไปเก็บไว้ในช่องแช่แข็ง (freezer) เพื่อนำไปวิเคราะห์โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1985)

**5. การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล**

**5.1 การตรวจสอบพฤติกรรมและลักษณะที่แสดงออกภายนอก**

ในระหว่างการทดลองสังเกตลักษณะผิดปกติภายนอก ได้แก่ สีของลำตัว การตกเลือดและการเกิดบาดแผลที่ครีบ ผิวหนัง และอวัยวะภายนอกอื่นๆ รวมทั้งสังเกตพฤติกรรมที่ผิดปกติในปลาแต่ละกลุ่ม ใช้ยาและสารเคมีเพื่อป้องกันโรค ตามสภาพของปลา ทำการดูดตะกอน ทำความสะอาดตู้ปลา เปลี่ยนถ่ายน้ำ เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมตลอดการทดลอง

**5.2 การตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา**

การชั่งน้ำหนักปลาดำเนินการทุก 2 สัปดาห์ เพื่อทราบน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นโดยการชั่งน้ำหนักรวมของปลาแต่ละซ้ำด้วยวิธีการแทนที่น้ำใช้เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (ในวันที่ชั่งน้ำหนักปลางดให้อาหารเป็นเวลา 1 วัน) นับจำนวนปลาที่เหลืออยู่ สังเกตลักษณะอาการปลาตลอดการทดลอง พร้อมทั้งจดบันทึกไว้ จนสิ้นสุดการทดลอง 10 สัปดาห์ นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าอัตรารอด (survival rate) โดยสมการ

$$\text{อัตรารอดตาย (\%)} = \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนปลาเมื่อเริ่มต้น}}$$

คำนวณอัตราการเจริญเติบโต โดยพิจารณาจาก

$$\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain \%)} = \frac{[\text{น.น.ปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น.น.ปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}] \times 100}{\text{น.น. ปลาเมื่อเริ่มต้น}}$$

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, SGR %)

$$= \frac{(\ln \text{น.น.ปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \ln \text{น.น.ปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}) \times 100}{\text{เวลา (วัน)}}$$

คำนวณอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion rate) ตามวิธีการของ Dupree และ Sneed (1966) โดยสมการ

$$\text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)} = \frac{\text{น.น.อาหารที่ปลากินทั้งหมด}}{\text{น.น.ปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}$$

**5.3 การหาค่าดัชนีตับต่อตัว (Hepatosomatic Index)**

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง สุ่มปลาจากทุกชุดการทดลองๆละ 6 ตัว นำปลาแต่ละตัวไปชั่งน้ำหนักตัวและน้ำหนักตับ นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าดัชนีตับต่อตัว ตามวิธีของ Anwar และ Jafri (1995) โดยสมการ

$$\text{ดัชนีตับต่อตัว (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตับปลา}}{\text{น้ำหนักตัวปลา}} \times 100$$

**5.4 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของปลา**

สุ่มตัวอย่างปลาก่อนเริ่มการทดลองจำนวน 30 ตัว นำไปวิเคราะห์ความชื้นในร่างกายทันทีและนำตัวอย่างปลาไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาได้แก่ ปริมาณ เถ้า ไขมัน และโปรตีน ตามวิธีการของ AOAC (1985) บันทึกเป็นองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาเริ่มต้น เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มตัวอย่างปลาจากแต่ละตู้ทดลองๆ ละ 2 ตัว ไปวิเคราะห์หาความชื้นของตัวปลาตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1985) และนำปลา 10 ตัวจากแต่ละตู้ทดลอง (แบ่งปลาเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งแล่เอาเฉพาะเนื้อ อีกส่วนหนึ่งใช้ปลาทั้งตัว) ไปผ่านกระบวนการทำให้แห้งโดย อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างนั้นไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า ของปลาด้วยวิธี AOAC (1985) แล้วบันทึกเป็นองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง จากนั้นจึงนำมาคำนวณค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ตามวิธีการของ Zeitoun และคณะ (1973)

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER)} = \frac{\text{น.น.ปลาที่เพิ่มขึ้น}}{\text{น.น. โปรตีนที่ปลากิน}}$$

การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (apparent net protein utilization, ANPU) ตามวิธีของ Robinson และ Wilson (1985) โดยสมการ

$$\text{การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (\%)} = \frac{(\text{โปรตีนในตัวปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง-โปรตีนในตัวปลาเมื่อเริ่มต้น}) \times 100}{\text{น.น.โปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง}}$$

**5.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อวิทยา**

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการเก็บตัวอย่างโดยสุ่มเก็บเนื้อเยื่อตับ จากตัวอย่างปลาตู้ทดลองๆ ละ 2 ตัวมาแช่ในสารละลายบูแอง (Bouin's fluid) 1 สัปดาห์ แล้วเปลี่ยนน้ำยาดองเป็นแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ก่อนนำไปผ่านกรรมวิธีเตรียมเนื้อเยื่อของ Humason (1972) เนื้อเยื่อตับถูกตัดให้มีความหนา 3-4 ไมโครเมตร แล้วย้อมด้วยสี Hematoxylin Eosin (HE) (Bancroft, 1967) จากนั้นนำตัวอย่างไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์

**5.6 การศึกษาองค์ประกอบเลือด**

สุ่มปลาจากทุกชุดการทดลองๆ ละ 6 ตัว มาสลบด้วยน้ำยา 2-phenoxyethenol เจาะเลือดจากบริเวณโคนหางโดยใช้ เอทีลินไดอะมีนเตตราอะซีติก (ethylenediaminetetraacetic acid : EDTA) 1.0 % เป็นสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด เพื่อศึกษาองค์ประกอบของเลือด คือ

- Hemoglobin โดยใช้วิธี Cyanmet-haemoglobin ของ Larsen และ Snieszko (1961)
- Hematocrit โดยวิธีดัดแปลงจาก Blaxhall และ Daisley (1973)
- Plasma protein โดยวิธีดัดแปลงจาก Lowry และคณะ (1951)

**5.7 การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารทดลองของปลานิล**

ในการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลานิล โดยเติมโครมิกออกไซด์ ($Cr_2O_3$) 0.5 % ของน้ำหนักอาหารเพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ และลดปริมาณของเซลลูโลสในอาหาร

ทำการเก็บรวบรวมมูลปลาหลังจากให้อาหาร 1 ชั่วโมง เพราะปลานิลจะขับมูลออกมาเมื่อมีการกินอาหารเข้าไปใหม่ ทำการเก็บรวบรวมมูลในน้ำด้วยการใช้สายพลาสติกขนาดเล็กดูดมูลปลาออกจากตู้แล้วกรองด้วยถุงกรองที่ผูกติดไว้กับสายยางอีกด้าน และนำไปแช่แข็ง เก็บรวบรวมมูลในสัปดาห์ที่ 8 – 10 เป็นเวลา 14 วัน เพื่อให้ได้ตัวอย่างเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ ทำมูลปลาให้แห้งด้วยวิธีการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างนั้นไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า ตามวิธีการ AOAC (1985) ทำการวิเคราะห์ปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์ในอาหารและในมูลตามวิธีของ Furukawa และ Tsukahara (1966) คำนวณหาประสิทธิภาพการย่อยโดยสมการ

ความสามารถในการย่อย (บนฐานของวัสดุแห้ง) (dry matter digestibility or total digestibility)

= 100-100[% มาร์กเกอร์ในอาหาร / % มาร์กเกอร์ในมูล]

% ความสามารถในการย่อยสารอาหาร (nutrient digestibility)

$$= 100-100\left[\frac{\%\ \text{มาร์กเกอร์ในอาหาร} \times \%\ \text{สารอาหารในมูล}}{\%\ \text{มาร์กเกอร์ในมูล} \times \%\ \text{สารอาหารในอาหาร}}\right]$$

**5.8 การศึกษาต้นทุนการผลิต**

คำนวณต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลานิล (unit feeding cost ) โดยสมการ

$$\text{ต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากินทั้งหมด(ก.ก.)} \times \text{ราคาอาหาร(บาท)}}{\text{น้ำหนักปลาทั้งหมด(ก.ก.)}}$$

**5.9 การวิเคราะห์ข้อมูล**

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA แบบ CRD และแบบ Factorial และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

**5.10 การตรวจสอบคุณภาพน้ำ**

ในขณะทำการทดลอง มีการตรวจสอบคุณภาพน้ำในตู้ทดลองทุก 2 สัปดาห์ โดยวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำโดยใช้ DO meter ของ YSI model 57 และใช้ขวดเก็บตัวอย่างน้ำขนาด 1 ลิตร เก็บตัวอย่างน้ำก่อนถ่ายเปลี่ยนน้ำ นำไปวัดค่าความเป็นกรดด่าง โดยใช้ pH meter ของ Mettler Delta รุ่น 340 และวิเคราะห์ความเป็นด่าง ตามวิธีการของ Boyd และ Tucker (1992)

# บทที่ 3

## ผลการทดลอง

### 3.1 ส่วนประกอบทางโภชนาการของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการของอาหารทดลองสูตรต่างๆ แสดงในตารางที่ 11 โดยมีระดับโปรตีน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตใกล้เคียงกันทุกสูตรโดยมีค่าเฉลี่ย คือ 30.38 ± 0.23, 8.72 ± 0.21 และ 37.68 ± 1.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนระดับไขมันในอาหารสูตรที่ 1, 4 และ 7 ซึ่งกำหนดให้มีพลังงาน 3,300 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม มีระดับไขมันเฉลี่ย 9.15 ± 0.70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอาหารสูตรที่ 2, 5 และ 8 ซึ่งต้องการให้มีพลังงาน 3,600 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัมมีระดับไขมันเฉลี่ย 12.18 ± 0.37 เปอร์เซ็นต์ และอาหารสูตรที่ 3, 6 และ 9 ซึ่งกำหนดให้มีพลังงาน 3,900 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัมมีระดับไขมันเฉลี่ย 15.33 ± 0.36 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 11 ส่วนประกอบทางโภชนาการของอาหารทดลองที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ โดยการวิเคราะห์ [1]

| สูตรที่ | กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน (%) | ระดับพลังงาน (กิโลคาลอรี/กิโลกรัม) | ส่วนประกอบ (%) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า | เยื่อใย | คาร์โบไฮเดรต |
| 1 | 0 | 3,300 | 7.71±0.10 | 30.45±0.15 | 8.74±0.35 | 8.96±0.01 | 6.15±0.24 | 37.99 |
| 2 | 0 | 3,600 | 5.55±0.36 | 30.74±0.15 | 11.80±0.82 | 8.99±0.04 | 5.01±0.11 | 37.91 |
| 3 | 0 | 3,900 | 4.63±0.12 | 30.53±0.64 | 14.94±1.44 | 8.98±0.04 | 3.53±0.35 | 37.39 |
| 4 | 15 | 3,300 | 4.32±0.17 | 30.48±0.16 | 8.75±0.80 | 8.60±0.06 | 7.38±0.15 | 40.47 |
| 5 | 15 | 3,600 | 4.17±0.09 | 30.49±0.09 | 12.21±0.68 | 8.62±0.02 | 5.91±0.27 | 38.60 |
| 6 | 15 | 3,900 | 3.49±0.16 | 30.08±0.39 | 15.39±0.78 | 8.37±0.05 | 5.69±0.14 | 36.98 |
| 7 | 30 | 3,300 | 5.40±0.04 | 30.41±0.18 | 9.96±0.87 | 8.66±0.03 | 8.50±0.13 | 37.07 |
| 8 | 30 | 3,600 | 4.16±0.09 | 30.17±0.65 | 12.53±1.20 | 8.66±0.02 | 7.30±0.13 | 37.18 |
| 9 | 30 | 3,900 | 3.82±0.05 | 30.05±0.27 | 15.66±0.87 | 8.66±0.02 | 6.25±0.46 | 35.56 |

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

**3.2 ความผิดปกติและพฤติกรรมของปลานิลที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ**

ผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน และระดับพลังงานแตกต่างกันทั้ง 9 สูตรไม่พบความผิดปกติของรูปร่างลักษณะภายนอก และปลาทุกตัวมีพฤติกรรมปกติ สุขภาพแข็งแรงตลอดการทดลอง

**3.3 การเจริญเติบโตและอัตรารอด**

**3.3.1 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว**

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตรตลอดระยะเวลาการทดลอง 10 สัปดาห์ พบว่าปลามีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาของการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 12 และภาพที่ 3 โดยที่น้ำหนักปลาเฉลี่ยต่อตัวเมื่อเริ่มทดลองจนถึงสัปดาห์ที่ 4 ของแต่ละหน่วยทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาเริ่มมีความแตกต่างกันตั้งแต่สัปดาห์ที่ 6 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง เมื่อพิจารณาแต่ละระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันพบว่าในสัปดาห์ที่ 6 และ 8 ปลากลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน (สูตร 1, 2 และ 3) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวไม่แตกต่างกันทั้ง 3 ระดับพลังงาน ($p>0.05$) ส่วนปลากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นส่วนประกอบ 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอาหารสูตรที่ 4 ซึ่งมีระดับพลังงาน 3,300 และสูตรที่ 5 ซึ่งมีระดับพลังงาน 3,600 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 (พลังงาน 3,900 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม) ส่วนอาหารสูตรที่ 7 ที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นส่วนประกอบอยู่ 30 เปอร์เซ็นต์ พลังงาน 3,300 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม ปลามีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวสูงที่สุด ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับพลังงาน 3,600 และ 3,900 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม (สูตรที่ 8 และ 9) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 8 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 7 ($p<0.05$) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 10 พบว่าปลานิลที่ได้รับอาหารสูตรที่ 7 (PKC 30%, DE 3,300 kcal/kg) ยังคงมีการเจริญเติบโตสูงสุด ($34.87 \pm 3.61$ กรัม) และมีน้ำหนักเฉลี่ยไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (PKC 0%, DE 3,300 kcal/kg), สูตรที่ 4 (PKC 15%, DE 3,300 kcal/kg), สูตรที่ 5 (PKC 15%, DE 3,600 kcal/kg) และสูตรที่ 9 (PKC 30%, DE 3,900 kcal/kg) ($p>0.05$) แต่มีน้ำหนักเฉลี่ยแตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 (PKC 0%, DE 3,600 kcal/kg), สูตรที่ 3 (PKC 0%, DE 3,900 kcal/kg), สูตร

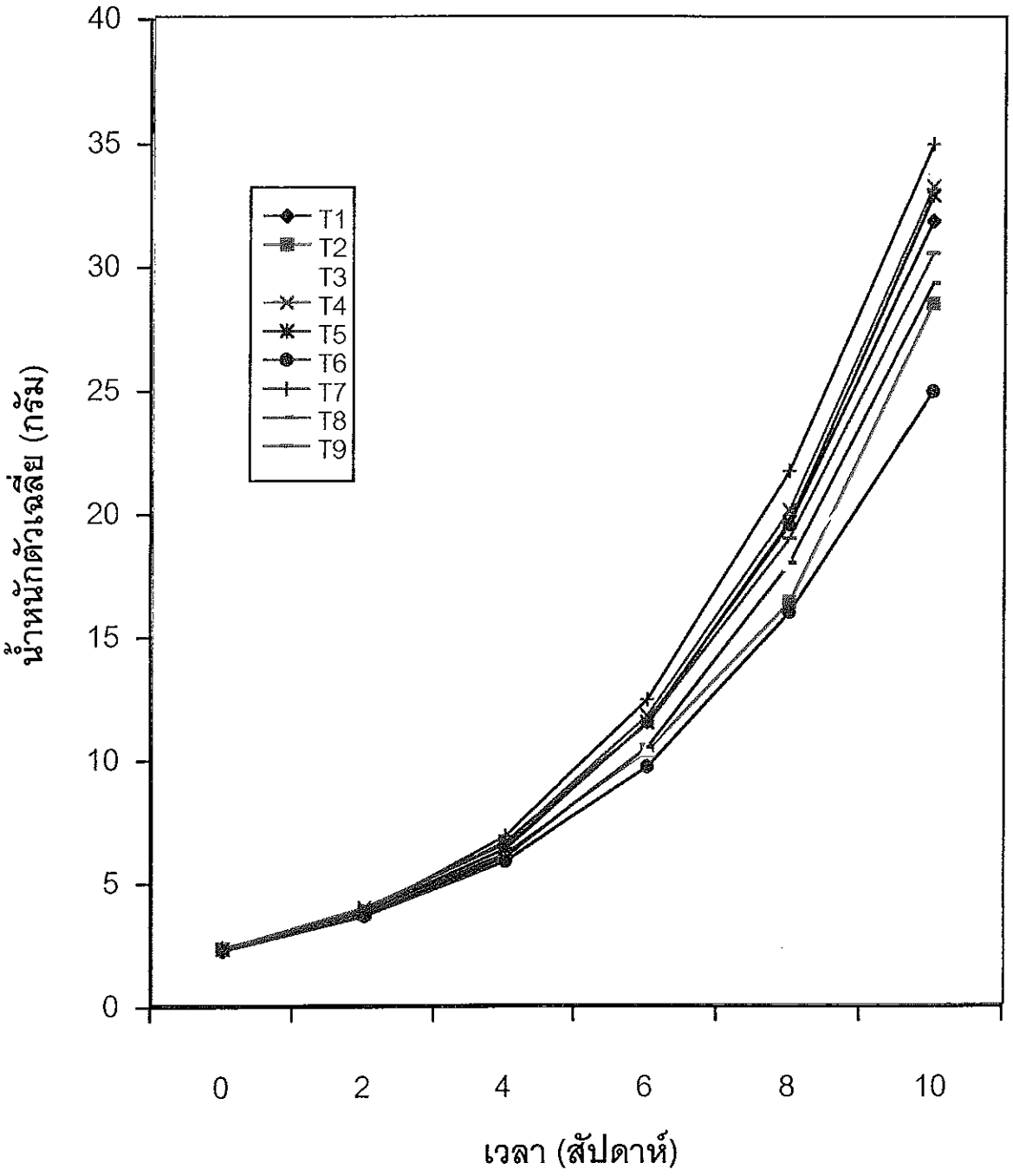
ที่ 6 (PKC 15%, DE 3,900 kcal/kg) และสูตรที่ 8 (PKC 30%, DE 3,600 kcal/kg) ($p<0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 มีการเจริญเติบโตต่ำสุด $24.52 \pm 2.94$ กรัม

ตารางที่ 12 การเจริญเติบโตของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1] (หน่วยเป็นกรัม)

| สูตรอาหาร | ระยะเวลา (สัปดาห์ที่) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 1 | 2.19±0.01[a] | 3.62±0.21[a] | 6.27±0.24[a] | 11.45±0.31[ab] | 19.48±0.72[abc] | 31.78±1.06[ab] |
| 2 | 2.28±0.07[a] | 3.68±0.17[a] | 6.10±0.25[a] | 10.30±0.43[bc] | 16.32±0.75[cd] | 28.43±2.56[bc] |
| 3 | 2.31±0.12[a] | 3.83±0.18[a] | 6.26±0.33[a] | 10.33±0.85[bc] | 17.87±1.43[bcd] | 24.52±2.94[c] |
| 4 | 2.28±0.13[a] | 3.95±0.15[a] | 6.50±0.66[a] | 11.72±1.71[ab] | 20.07±2.64[ab] | 33.19±3.40[ab] |
| 5 | 2.28±0.12[a] | 3.79±0.06[a] | 6.32±0.33[a] | 11.43±0.93[ab] | 19.58±2.32[abc] | 32.81±2.86[ab] |
| 6 | 2.25±0.09[a] | 3.60±0.04[a] | 5.81±0.33[a] | 9.64±0.36[c] | 15.91±0.81[d] | 24.89±1.58[c] |
| 7 | 2.31±0.14[a] | 3.75±0.39[a] | 6.84±0.78[a] | 12.37±0.90[a] | 21.65±2.50[a] | 34.87±3.61[a] |
| 8 | 2.18±0.07[a] | 3.59±0.06[a] | 5.98±0.12[a] | 10.43±0.64[bc] | 17.92±1.93[bcd] | 29.25±3.67[bc] |
| 9 | 2.26±0.01[a] | 3.84±0.15[a] | 6.60±0.20[a] | 11.37±0.65[ab] | 18.91±0.91[abcd] | 30.48±3.06[ab] |

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)




ภาพที่ 3 การเจริญเติบโตของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์

**3.3.2 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตาย**

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตาย ของปลานิลที่ได้รับอาหารทั้ง 9 สูตรเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 13 พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 9 สูตร มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($p<0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 957.53 ± 103.57 – 1,418.76 ± 212.79 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 30 เปอร์เซ็นต์ พลังงาน 3,300 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นสูงที่สุด (1,418.76 ± 212.79 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาได้แก่ปลาที่ได้รับอาหารสูตร 1, 4, 5, 8 และ 9 ซึ่งมีค่าน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 1,244.84 ± 136.33 – 1,353.62 ± 58.51 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกลุ่มที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอยู่ในเกณฑ์ต่ำได้แก่ปลาที่ได้รับอาหารสูตร 2 และ 6 มีน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นคือ 1147.93 ± 89.12 และ 1008.86 ± 84.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตร 3 มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด (957.53 ± 103.57 เปอร์เซ็นต์)

ส่วนผลการวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันร้อยละ 30 พลังงาน 3,300 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุด (3.88 ± 0.21 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตร 3 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะน้อยที่สุด (3.36 ± 0.41 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) (ตารางที่ 13 )

สำหรับอัตรารอดตายของปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 9 สูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยอยู่ในช่วง 90.00 ± 10.00 - 100 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 13 )

ตารางที่ 13 น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลานิล ที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

| สูตรอาหาร | น้ำหนักเริ่มต้น (กรัมต่อตัว) | น้ำหนักสุดท้าย (กรัมต่อตัว) | น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น[2] (%) | อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ[3] (% ต่อวัน) | อัตราการรอดตาย[4] (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2.19±0.01 $^{a}$ | 31.78±1.06 $^{ab}$ | 1,353.62±58.51 $^{ab}$ | 3.82±0.06 $^{ab}$ | 98.33±2.89 $^{a}$ |
| 2 | 2.28±0.07 $^{a}$ | 28.43±2.56 $^{bc}$ | 1,147.93±89.12 $^{bc}$ | 3.60±0.10 $^{bc}$ | 98.33±2.89 $^{a}$ |
| 3 | 2.31±0.12 $^{a}$ | 24.52±2.94 $^{c}$ | 957.53±103.57 $^{c}$ | 3.36±0.14 $^{c}$ | 99.33±5.77 $^{a}$ |
| 4 | 2.28±0.13 $^{a}$ | 33.19±3.40 $^{ab}$ | 1,352.09±85.83 $^{ab}$ | 3.82±0.08 $^{ab}$ | 100 $^{a}$ |
| 5 | 2.28±0.12 $^{a}$ | 32.81±2.86 $^{ab}$ | 1,341.01±98.22 $^{ab}$ | 3.81±0.10 $^{ab}$ | 100 $^{a}$ |
| 6 | 2.25±0.09 $^{a}$ | 24.89±1.58 $^{c}$ | 1,008.86±84.12 $^{c}$ | 3.43±0.11 $^{c}$ | 90.00±10.00 $^{a}$ |
| 7 | 2.31±0.14 $^{a}$ | 34.87±3.61 $^{a}$ | 1,418.76±212.79 $^{a}$ | 3.88±0.21 $^{a}$ | 100 $^{a}$ |
| 8 | 2.18±0.07 $^{a}$ | 29.25±3.67 $^{bc}$ | 1,239.05±151.59 $^{ab}$ | 3.70±0.17 $^{ab}$ | 98.33±2.89 $^{a}$ |
| 9 | 2.26±0.01 $^{a}$ | 30.48±3.06 $^{ab}$ | 1,244.84±136.33 $^{ab}$ | 3.71±0.14 $^{ab}$ | 96.67±5.70 $^{a}$ |

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

[2] น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น = (น้ำหนักสุดท้าย-น้ำหนักเริ่มต้น) x100/น้ำหนักเริ่มต้น

[3] อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ = ln น้ำหนักสุดท้าย-ln น้ำหนักเริ่มต้น x100 / เวลา(วัน)

[4] อัตราการรอดตาย = จำนวนปลาที่เหลือ x 100/จำนวนปลาเริ่มต้น

**3.4 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ**

การเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร แสดงในตารางที่ 14 พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีค่าอยู่ในช่วง $1.63 \pm 0.08 - 2.23 \pm 0.44$ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนมีค่าอยู่ในช่วง $2.40 \pm 0.35 - 2.88 \pm 0.06$ และค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิมีค่าอยู่ในช่วง $30.86 \pm 5.67 - 40.04 \pm 2.40$ เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 14 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

| สูตรอาหาร | อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ[2] | ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน[3] | การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ[4] |
|---|---|---|---|
| 1 | 1.74±0.07[a] | 2.75±0.03[a] | 38.40±0.93[a] |
| 2 | 1.73±0.20[a] | 2.76±0.19[a] | 36.58±3.19[a] |
| 3 | 2.23±0.44[a] | 2.40±0.35[a] | 30.86±5.67[a] |
| 4 | 1.73±0.03[a] | 2.73±0.04[a] | 38.96±1.75[a] |
| 5 | 1.63±0.08[a] | 2.88±0.06[a] | 40.04±2.40[a] |
| 6 | 1.94±0.20[a] | 2.60±0.14[a] | 35.73±3.10[a] |
| 7 | 1.87±0.07[a] | 2.55±0.08[a] | 36.03±2.28[a] |
| 8 | 1.79±0.13[a] | 2.68±0.12[a] | 36.98±1.73[a] |
| 9 | 1.77±0.25[a] | 2.84±0.21[a] | 38.69±3.39[a] |

[1] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

[2] อัตราแลกเนื้อ = น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม) / น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)

[3] ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) / น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน

[4] การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ = โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) x น้ำหนักโปรตีนที่ปลากินทั้งหมด (กรัม) /100

**3.5 ประสิทธิภาพการย่อยอาหารทดลองของปลานิล**

ประสิทธิภาพการย่อยอาหาร ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน ไขมัน และเถ้าของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 15

จากการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารบนฐานวัตถุแห้ง พบว่าประสิทธิภาพการย่อยอาหารสูตรที่ไม่เสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน (สูตรที่ 1, 2 และ 3) ของปลานิลมีค่าอยู่ในช่วง 56.57 ± 2.66 – 66.42 ± 3.49 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าอาหารที่เสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 15 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 4, 5 และ 6) และ 30 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 7, 8 และ 9) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 45.65 ± 3.76 – 47.66 ± 3.01 เปอร์เซ็นต์ และ 45.39 ± 4.39 – 46.74 ± 2.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ปลาที่ได้รับอาหารเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันทั้ง 2 ระดับ มีประสิทธิภาพการย่อยอาหารไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) สำหรับประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง ($p>0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 83.56 ± 0.28 – 85.52 ± 0.16 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ปลานิลสามารถย่อยโปรตีนในอาหารสูตรที่ 1 (PKC 0%, DE 3,300 kcal/kg), สูตรที่ 2 (PKC 0%, DE 3,600 kcal/kg) และสูตรที่ 7 (PKC 30%, DE 3,300 kcal/kg) ได้ดีที่สุด (85.27 ± 0.19 – 85.52 ± 0.16 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาได้แก่อาหารสูตรที่ 4 (PKC 15%, DE 3,300 kcal/kg) โดยมีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน 84.47 ± 0.26 ส่วนอาหารสูตรที่ 3 (PKC 0%, DE 3,900 kcal/kg), สูตรที่ 5 (PKC 15%, DE 3,600 kcal/kg), สูตรที่ 6 (PKC 15%, DE 3,900 kcal/kg), สูตรที่ 8 (PKC 30%, DE 3,600 kcal/kg) และสูตรที่ 9 (PKC 30%, DE 3,900 kcal/kg) เป็นกลุ่มอาหารสูตรที่มีค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนต่ำ (83.56 ± 0.28 – 83.85 ± 0.49 เปอร์เซ็นต์) ส่วนประสิทธิภาพการย่อยไขมันพบว่าอาหารสูตรที่ 7 (PKC 30%, DE 3,300 kcal/kg) และ สูตรที่ 8 (PKC 30%, DE 3,600 kcal/kg) ปลานิลมีความสามารถในการย่อยไขมันไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) (91.04 ± 0.03 – 90.55 ± 0.06 เปอร์เซ็นต์) แต่แตกต่างจากสูตรอื่นๆ สำหรับประสิทธิภาพการย่อยเถ้าในทุกๆ ระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและระดับพลังมีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง ($p<0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 42.51 ± 1.77 – 19.07 ± 1.00 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 15 ประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

| สูตรอาหาร | ประสิทธิภาพการย่อย (%) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | วัตถุแห้ง | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า |
| 1 | 56.57±2.66[b] | 85.27±0.19[a] | 69.16±0.39[b] | 32.88±0.18[c] |
| 2 | 59.31±1.70[b] | 85.52±0.16[a] | 74.42±0.37[b] | 25.15±0.81[d] |
| 3 | 66.42±3.49[a] | 83.85±0.49[c] | 71.86±0.59[b] | 33.66±0.76[bc] |
| 4 | 45.65±3.76[c] | 84.47±0.26[b] | 84.62±0.36[b] | 31.85±1.17[c] |
| 5 | 46.18±3.35[c] | 83.56±0.28[c] | 81.33±0.43[b] | 27.37±1.84[d] |
| 6 | 47.66±3.01[c] | 83.59±0.74[c] | 83.61±0.22[b] | 19.07±1.00[d] |
| 7 | 45.49±3.65[c] | 85.41±0.28[a] | 91.04±0.03[a] | 35.67±0.95[b] |
| 8 | 45.39±4.39[c] | 83.82±0.10[c] | 90.55±0.06[a] | 39.55±1.93[a] |
| 9 | 46.74±2.54[c] | 83.61±0.03[c] | 87.81±0.13[b] | 42.51±1.77[a] |

[1] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

**3.6 ส่วนประกอบทางโภชนาการของปลาทั้งตัว และเนื้อปลา**

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการของปลาทั้งตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ตารางที่ 16 ) พบว่า ความชื้นและเถ้าของปลาไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ในทุกระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มและระดับพลังงาน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 75.13 ± 0.91 – 76.47 ± 0.20 และ 13.36 ± 0.12 – 16.65 ± 0.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ส่วนโปรตีนของร่างกายปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและระดับพลังงานต่างกันทั้ง 9 สูตร พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05) โดยอาหารสูตรที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 0, 15 และ 30 เปอร์เซ็นต์ที่ระดับพลังงาน 3,300 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม พบว่ามีระดับโปรตีนในร่างกายไม่แตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 59.12 ± 0.29 – 59.23 ± 0.22 เปอร์เซ็นต์ แต่แตกต่างจากอาหารที่มีพลังงาน 3,600 และ 3,900 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) สำหรับไขมันพบว่ามีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) มีค่าอยู่ในช่วง 21.28 ± 0.33 – 31.39 ± 0.80

เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปลาที่ได้รับอาหารที่มีพลังงานต่ำ (3,300 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม) จะมีปริมาณไขมันในร่างกายต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีพลังงานสูงขึ้น (3,600 และ 3,900 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม) ในทุกระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 16 ส่วนประกอบทางโภชนาการของซากปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

| สูตรอาหาร | ส่วนประกอบ (%) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า |
| เริ่มต้น | 76.47±0.20 | 62.29±0.74 | 20.36±1.21 | 15.57±0.02$^{a}$ |
| 1 | 76.30±0.47$^{a}$ | 59.17±0.16$^{a}$ | 24.41±1.06$^{e}$ | 15.85±0.10$^{a}$ |
| 2 | 75.79±0.92$^{a}$ | 55.16±0.09$^{e}$ | 27.93±3.52$^{bc}$ | 14.63±0.10$^{a}$ |
| 3 | 75.89±0.96$^{a}$ | 54.31±0.40$^{f}$ | 31.39±0.80$^{a}$ | 13.36±0.12$^{a}$ |
| 4 | 75.91±0.72$^{a}$ | 59.12±0.29$^{a}$ | 21.28±0.33$^{f}$ | 16.65±0.32$^{a}$ |
| 5 | 75.13±0.91$^{a}$ | 56.14±0.31$^{cd}$ | 27.85±0.73$^{bc}$ | 13.90±0.17$^{a}$ |
| 6 | 75.41±1.07$^{a}$ | 56.28±0.11$^{c}$ | 27.27±1.14$^{bcd}$ | 14.09±0.32$^{a}$ |
| 7 | 76.07±0.75$^{a}$ | 59.23±0.22$^{a}$ | 25.72±1.12$^{cde}$ | 15.08±0.12$^{a}$ |
| 8 | 75.98±0.49$^{a}$ | 57.72±0.48$^{b}$ | 25.20±0.37$^{de}$ | 15.04±0.23$^{a}$ |
| 9 | 75.43±0.81$^{a}$ | 55.75±0.21$^{d}$ | 29.85±1.23$^{ab}$ | 13.78±0.15$^{a}$ |

[1] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

สำหรับการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการของเนื้อปลานิล ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า แสดงในตารางที่ 17 พบว่าที่ระดับพลังงาน 3,300 และ 3,600 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัมมีผลทำให้ระดับโปรตีนในเนื้อปลามีค่าใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างจากพลังงาน 3,900 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม ทั้ง 3 ระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ($p<0.05$) สำหรับระดับไขมันพบว่าอาหารสูตรที่ 9 (PKC 30%, DE 3,900 kcal/kg) มีระดับไขมันสูงที่สุด (15.22 ± 0.82) รองลงมาได้แก่อาหารสูตรที่ 3 (PKC 0%, DE 3,900 kcal/kg) และสูตรที่ 6 (PKC 15%, DE 3,900 kcal/kg) ซึ่งมีค่าระดับไขมันในเนื้อ 13.36 ± 0.66 และ12.50 ± 1.76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับและยังเป็นค่าที่สูงกว่าอาหารสูตรที่มีพลังงาน

3,600 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม ทั้ง 3 ระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน (สูตร 2, 5 และ 8) ซึ่งมีระดับไขมันไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ส่วนสูตรอาหารที่มีพลังงาน 3,300 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม มีระดับไขมันในเนื้อต่ำสุด และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 3 ระดับระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ส่วนค่าความชื้น และเถ้า ของเนื้อปลาไม่มีความแตกต่าง ($p>0.05$) ในทุกระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและระดับพลังงาน อย่างไรก็ตามพบว่าค่าโปรตีนในเนื้อปลามีค่าสูงกว่าปลาทั้งตัว โดยมีค่าอยู่ในช่วง 78.84 ± 2.57 – 86.94 ± 0.77 เปอร์เซ็นต์ แต่ปริมาณไขมัน และเถ้ามีค่าต่ำกว่า โดยมีค่าอยู่ในช่วง 8.85 ± 0.93 – 15.22 ± 0.82 และ 4.29 ± 0.03 – 5.46 ± 0.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 17 ส่วนประกอบทางโภชนาการของเนื้อปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

| สูตรอาหาร | ส่วนประกอบ (%) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า |
| 1 | 79.08±0.17$^{a}$ | 86.74±0.37$^{a}$ | 8.85±0.93$^{e}$ | 4.29±0.03$^{a}$ |
| 2 | 78.73±0.47$^{a}$ | 85.27±0.60$^{ab}$ | 10.97±0.71$^{c}$ | 4.84±0.02$^{a}$ |
| 3 | 78.22±0.73$^{a}$ | 83.34±0.28$^{c}$ | 13.36±0.66$^{b}$ | 4.68±0.35$^{a}$ |
| 4 | 78.72±0.40$^{a}$ | 86.89±0.28$^{a}$ | 9.37±0.37$^{de}$ | 5.06±0.03$^{a}$ |
| 5 | 78.42±0.40$^{a}$ | 85.42±0.13$^{a}$ | 10.54±0.48$^{cd}$ | 5.19±0.17$^{a}$ |
| 6 | 78.38±0.72$^{a}$ | 78.84±2.57$^{d}$ | 12.50±1.76$^{b}$ | 4.79±0.24$^{a}$ |
| 7 | 77.70±0.18$^{a}$ | 86.94±0.77$^{a}$ | 10.14±0.40$^{cde}$ | 4.89±0.09$^{a}$ |
| 8 | 78.63±0.28$^{a}$ | 86.25±0.80$^{a}$ | 10.59±0.19$^{cd}$ | 4.62±0.27$^{a}$ |
| 9 | 77.54±0.47$^{a}$ | 83.62±0.37$^{bc}$ | 15.22±0.82$^{a}$ | 5.46±0.05$^{a}$ |

[1] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

**3.7 องค์ประกอบเลือด และดัชนีตับต่อตัว**

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเลือดพบว่าทุกระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและระดับพลังงานมีค่าฮีมาโตคริต ฮีโมโกลบิน และโปรตีนในพลาสมา ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ย 31.81 ± 0.92 เปอร์เซ็นต์ 7.60 ± 0.45 กรัมต่อเดซิลิตร (g/dl) และ 9.76 ±0.88 กรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 18)

ค่าดัชนีตับต่อตัวของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและระดับพลังงานแตกต่างกันทั้ง 9 สูตร มีค่าอยู่ในช่วง 1.53 ± 0.13 – 1.96 ± 0.21 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 18) และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 18 องค์ประกอบเลือดและดัชนีตับต่อตัวของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

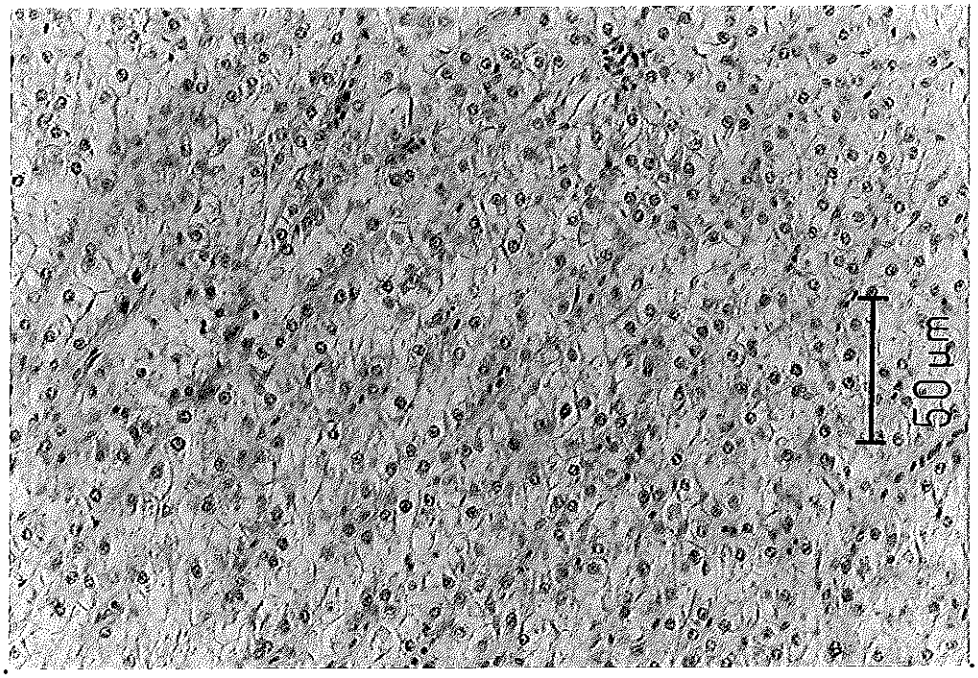
| สูตรอาหาร | ฮีมาโตคริต (%) | ฮีโมโกลบิน (g/dl) | โปรตีนในพลาสมา (g%) | ดัชนีตับต่อตัว (%) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 32.65±1.68 [a] | 7.79±0.85 [a] | 9.72±0.68 [a] | 1.67±0.14 [a] |
| 2 | 32.23±0.40 [a] | 8.12±0.43 [a] | 9.56±1.00 [a] | 1.92±0.20 [a] |
| 3 | 31.92±1.51 [a] | 7.78±0.46 [a] | 10.02±0.99 [a] | 1.89±0.26 [a] |
| 4 | 31.98±1.32 [a] | 8.36±0.69 [a] | 8.22±0.86 [a] | 1.60±0.36 [a] |
| 5 | 30.66±1.47 [a] | 7.56±0.84 [a] | 9.63±0.73 [a] | 1.66±0.51 [a] |
| 6 | 30.61±2.38 [a] | 7.32±1.34 [a] | 9.47±0.64 [a] | 1.96±0.21 [a] |
| 7 | 33.46±0.49 [a] | 7.61±0.37 [a] | 9.72±0.65 [a] | 1.53±0.13 [a] |
| 8 | 31.35±1.71 [a] | 6.91±0.23 [a] | 11.66±0.04 [a] | 1.79±0.17 [a] |
| 9 | 31.39±1.69 [a] | 6.98±0.71 [a] | 9.87±0.21 [a] | 1.63±0.04 [a] |

[1] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

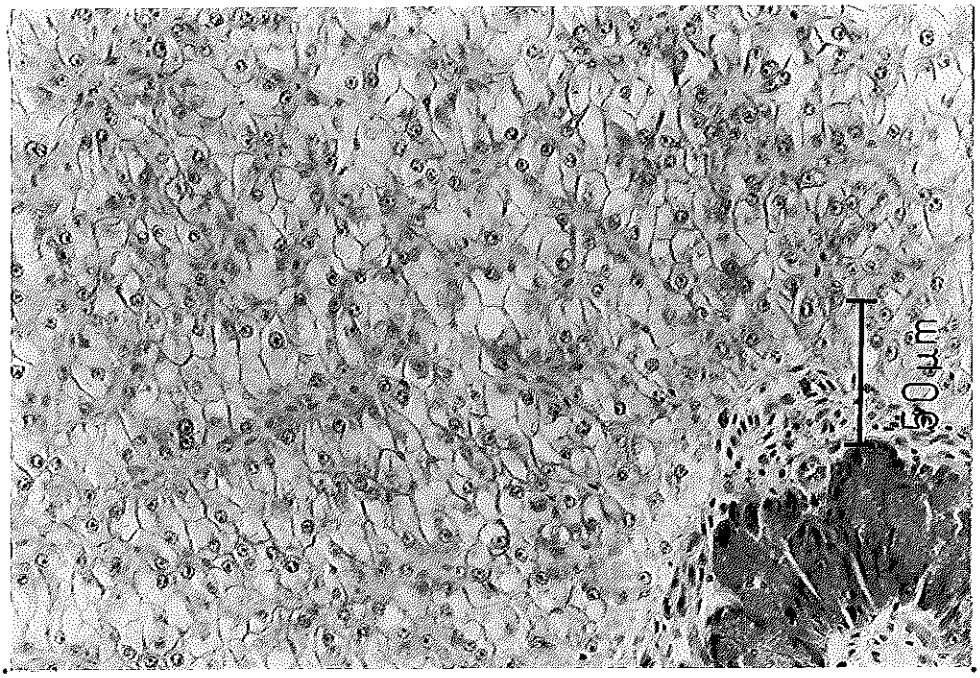
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

**3.8 การศึกษาเนื้อเยื่อวิทยาของตับปลานิล**

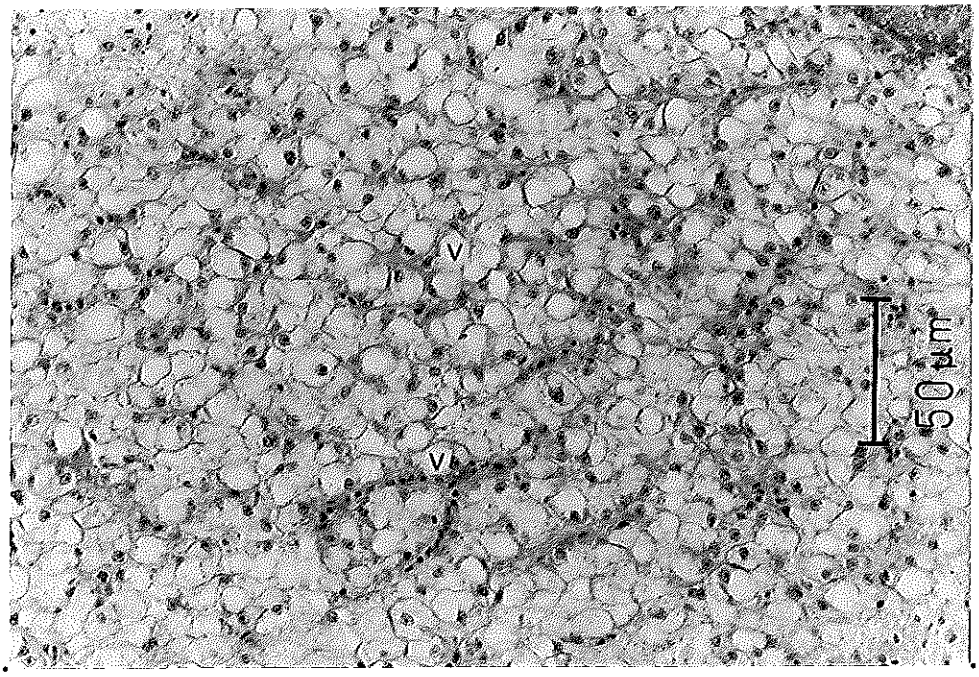
จากผลการศึกษาพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อตับของปลานิลพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับพลังงาน 3,300 และ 3,600 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม ตรวจไม่พบพยาธิสภาพของเซลล์ตับทุกๆ ระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน (ภาพที่ 4 และ 5) ส่วนเซลล์ตับของปลาที่ได้รับอาหารที่มีพลังงาน 3,900 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม ทั้ง 3 ระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน พบการเกิดช่องว่าง (vacuole) ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่กระจายอยู่ภายในตับ แต่ไม่รุนแรง (ภาพที่ 6)




ภาพที่4 เนื้อเยื่อตับปกติของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีพลังงาน 3,300 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม ทุกๆ ระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน (H&E, Bar = 50 µm)




ภาพที่5 เนื้อเยื่อตับปกติของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีพลังงาน 3,600 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม ทุกๆ ระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน (H&E, Bar = 50 µm)




ภาพที่6 การเกิดช่องว่างในเนื้อเยื่อตับของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีพลังงาน 3,900 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม ทุกๆ ระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน (H&E, Bar = 50 µm)

(V = vacuoles)

**3.9 ราคาอาหารและต้นทุนการผลิต**

จากการคำนวณราคาค่าอาหารเฉพาะต้นทุนค่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นำมาเป็นส่วนประกอบในสูตรทั้ง 9 สูตรพบว่าสูตรอาหารที่มีส่วนประกอบของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นจะทำให้อาหารมีราคาต่ำลง แต่ในทางกลับกันเมื่อเพิ่มระดับพลังงานในสูตรอาหารราคาค่าอาหารจะสูงขึ้น ดังตารางที่ 19 และจากการวิเคราะห์ต้นทุนค่าอาหารสูตรต่างๆ ต่อการผลิตปลา 1 กิโลกรัม พบว่ามีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($p<0.05$) (ตารางที่ 19) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 7 (PKC 30%; DE 3,300 kcal/kg) และสูตรที่ 4 (PKC 15%; DE 3,300 kcal/kg) มีต้นทุนค่าการผลิตปลาต่อหน่วยต่ำที่สุด (17.33 ± 0.68 และ 18.40 ± 0.33 บาท ตามลำดับ) รองลงมาได้แก่ปลากลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ 8 (PKC 30%; DE 3,600 kcal/kg) สูตรที่ 1 (PKC 0%; DE 3300 kcal/kg) และสูตรที่ 5 (PKC 15%; DE 3600 kcal/kg) มีต้นทุนค่าอาหารอยู่ในช่วง 21.29 ± 1.61 - 21.71 ± 1.07 บาท ต่อการผลิตปลา 1 กิโลกรัม ส่วนกลุ่มที่มีต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตปลาสูงกว่านี้ได้แก่ปลาที่ได้รับอาหารสูตร 2 (PKC 0%; DE 3,600 kcal/kg) สูตร 9 (PKC 30%; DE 3,900 kcal/kg) และสูตร 6 (PKC 15%; DE 3,900 kcal/kg) ซึ่งมีต้นทุนอยู่ในช่วง 25.77 ± 2.97 – 30.95 ± 3.26บาท ขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 (PKC 0%; DE 3,900 kcal/kg) มีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยสูงที่สุด (39.13 ± 7.66 บาท)

ตารางที่ 19 ราคาค่าอาหารและต้นทุนค่าอาหารต่อหน่วยการผลิตปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

| สูตรอาหาร | ราคาอาหาร[2] (บาทต่อกิโลกรัม) | ต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักปลา[3] (บาทต่อกิโลกรัม) |
|---|---|---|
| 1 | 12.25 | 21.33±0.84[ab] |
| 2 | 14.92 | 25.77±2.97[bc] |
| 3 | 17.58 | 39.13±7.66[d] |
| 4 | 10.65 | 18.40±0.33[a] |
| 5 | 13.31 | 21.71±1.07[ab] |
| 6 | 15.98 | 30.95±3.26[c] |
| 7 | 9.26 | 17.33±0.68[a] |
| 8 | 11.92 | 21.29±1.61[ab] |
| 9 | 14.58 | 25.77±3.69[bc] |

[1] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

[2] คิดเฉพาะค่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยไม่รวมค่าวิตามิน แร่ธาตุ สารเหนียว โครมิกซ์ออกไซด์ และเซลลูโลส

[3] ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย = น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม) x ราคาอาหาร (บาท) / น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)

### 3.10 คุณภาพน้ำ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลอง (ตารางที่ 20) พบว่า อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 26.18-26.44 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดด่าง 6.96-7.03 ค่าความกระด้าง 22.17-24.39 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าออกซิเจนละลายน้ำ 6.89-7.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่ปลานิลสามารถดำรงชีวิตได้อย่างปกติ

ตารางที่ 20 คุณภาพน้ำตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์[1]

| สูตรอาหาร | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ความเป็นกรดเป็นด่าง | ความเป็นด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 26.43±0.93 | 6.97±0.16 | 22.17±1.16 | 7.27±0.50 |
| 2 | 26.29±1.10 | 6.98±0.22 | 22.95±1.60 | 7.13±0.39 |
| 3 | 26.18±0.98 | 6.96±0.19 | 22.50±0.50 | 6.98±0.30 |
| 4 | 22.20±1.01 | 6.96±0.18 | 23.11±1.02 | 7.04±0.38 |
| 5 | 26.39±0.94 | 6.99±0.10 | 23.45±1.07 | 6.91±0.58 |
| 6 | 26.39±0.83 | 7.01±0.19 | 23.00±0.88 | 7.16±0.34 |
| 7 | 26.20±0.98 | 7.03±0.11 | 24.39±0.48 | 6.89±0.65 |
| 8 | 26.44±0.98 | 7.01±0.13 | 23.28±0.09 | 6.98±0.68 |
| 9 | 26.39±0.98 | 7.02±0.18 | 23.22±0.51 | 6.96±0.32 |
| บ่อพักน้ำ | 27.17±0.64 | 7.30±0.18 | 19.78±1.40 | 7.99±0.81 |

[1] ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

# บทที่ 4

## วิจารณ์ผลการทดลอง

ถึงแม้ว่าการเจริญเติบโตของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 30 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มว่ามีการเจริญเติบโตดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 0 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารได้สูงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระดับที่สูงกว่าการทดลองของ Boonyaratpalin และ Phromkhunthong (2000) ที่ทดลองเลี้ยงปลานิลขนาดเฉลี่ย 1.5 กรัม นาน 8 สัปดาห์ โดยใช้สูตรอาหารที่มีกากปาล์มป่นเป็นส่วนประกอบ 21 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่าการเจริญเติบโตของปลานิลที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ ของการทดลองครั้งนี้มีค่าอยู่ในระดับสูง เมื่อเทียบกับหลายๆ การทดลอง ที่ใช้อาหารที่ผลิตจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีอยู่ทั่วไป (practical diet) โดยมีคุณค่าทางโภชนาการ ขนาดปลา รวมทั้งระยะเวลาที่ทดลองเลี้ยงใกล้เคียงกัน (Al-Ogaily *et al.*, 1996; Belal and Al-Jasser, 1997; Pouomogne *et al*, 1997; Al-Hafedh and Siddiqui, 1998; El-Sayed, 1998; Belal,1999) อย่างไรก็ตามอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลในการทดลองครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองของ De Silva และคณะ (1991) และ Boonyaratpalin และ Phromkunthong (2000) ทั้งนี้น่าจะเป็นผลเนื่องมาจากการทดลองครั้งนี้ใช้ปลานิลเพศผู้ (GMT) ในการทดลอง เช่นเดียวกับการทดลองของ De Silva และคณะ (1991) และ Boonyaratpalin และ Phromkunthong (2000) ในขณะที่การทดลองอื่นๆ ใช้ปลานิลทั้งเพศผู้และเพศเมียในการทดลอง ส่วนการเพิ่มระดับพลังงานในสูตรอาหารมีผลทำให้การเจริญเติบโตของปลานิลลดลงอย่างชัดเจน จากผลของการทดลองครั้งนี้พบว่าระดับพลังงานที่ทำให้ปลาเจริญเติบโตดีที่สุด คือ 3,300 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม เนื่องจากการเพิ่มระดับพลังงานมากเกินไปทำให้สัดส่วนของโปรตีนและระดับพลังงานอยู่ในระดับที่ไม่เหมาะสม เมื่อสัดส่วนโปรตีนและระดับพลังงานในอาหารไม่สมดุล ทำให้ความสามารถในการนำเอาไขมันไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง มีผลให้การเจริญเติบโตของปลาลดลงด้วย (วุฒิพร และคณะ, 2541; De Silva *et al.*, 1991; Abdel-Fattah *et al.*, 1992; El-Dahhar and lovell, 1995) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าระดับของโปรตีนต่อพลังงานที่ย่อยได้ในอาหารปลานิลมีค่าอยู่ในช่วง 95-

108 มิลลิกรัมโปรตีนต่อกิโลคาลอรี (Winfree and Stickney, 1981; El-Dahhar and Lovell, 1995; Hanley *et al.*, 1997) แต่จากการคำนวณโปรตีนต่อพลังงานที่ย่อยได้ในอาหารปลานิลของการทดลองครั้งนี้พบว่า ระดับของโปรตีนต่อพลังงานที่ย่อยได้ที่ทำให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตดีที่สุดมีค่า 91 มิลลิกรัมโปรตีนต่อกิโลคาลอรี ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ แสดงว่าระดับพลังงานที่ใช้น่าจะเป็นระดับพลังงานที่สูงเกินไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสูตรอาหารที่ไม่มีองค์ประกอบของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน การเพิ่มระดับพลังงานทำให้การเจริญเติบโตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เป็นข้อยืนยันได้ว่าที่ระดับพลังงาน 3,300 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม เป็นค่าที่สูงเกินไป สำหรับสูตรอาหารที่ไม่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ สอดคล้องกับการทดลองของ El-Sayed (1987) (อ้างโดย NRC, 1993) ที่ระบุว่าค่าพลังงานที่ย่อยได้ระดับที่เหมาะสมสำหรับสูตรอาหารของปลานิล ที่มีโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ ควรมีค่า 2,900 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ มานพ และคณะ (2536) ที่กล่าวว่าระดับพลังงานขั้นต่ำของอาหารปลานิลที่ดีควรอยู่ที่ระดับ 3,000 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม ดังนั้นการลดพลังงานในอาหารสูตรที่ไม่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นส่วนประกอบให้ต่ำลง น่าจะมีผลทำให้การเจริญเติบโตดีขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าเมื่ออาหารมีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น การเพิ่มพลังงานให้สูงขึ้นตาม จะทำให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตดีขึ้น แม้ความสัมพันธ์ดังกล่าว จะไม่เด่นชัดเจน แต่ก็สอดคล้องกับผลของประสิทธิภาพการใช้โปรตีนที่พบว่ามีความสัมพันธ์กันระหว่างระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันกับระดับพลังงาน กล่าวคือเมื่อมีการเพิ่มระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในอาหารจะต้องเพิ่มพลังงานให้เหมาะสม จึงจะทำให้ค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนดีที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อเพิ่มกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในสูตรอาหาร ทำให้ปลาต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น เพราะวัสดุอาหารชนิดนี้มีระดับของเยื่อใยสูง ปลาจึงใช้พลังงานในกระบวนการย่อยสูงตามไปด้วย (El-Dahhar and Lovell, 1995) ถ้าไม่เพิ่มระดับพลังงานปลาต้องใช้โปรตีนในอาหารมาเป็นพลังงานแทนที่จะใช้เพื่อการเจริญเติบโต (Halver, 1989; De Silva and Anderson, 1995) ส่วนค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ก็มีลักษณะในทำนองเดียวกัน อย่างไรก็ตามแม้ว่าผลการทดลองพบว่า อาหารที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดคือสูตรที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 15 เปอร์เซ็นต์ พลังงาน 3,600 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม แต่เมื่อพิจารณาจากอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ของอาหารสูตรที่มีระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันแตกต่างกัน 3 ระดับ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แต่อาหารสูตรที่มีระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์ม

น้ำมัน 30 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตดีที่สุด ดังนั้นจึงสามารถใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โดยที่อาหารยังมีประสิทธิภาพดีพอสำหรับการนำไปใช้เลี้ยงปลานิล ซึ่งเป็นระดับที่ใกล้เคียงกับการใช้วัตถุดิบโปรตีนทดแทนอื่นๆ ในสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิล เช่น สามารถใช้เรพซีดได้ 15 เปอร์เซ็นต์ (Davies *et al.*, 1990) กากแมคคาเดเมีย 50 เปอร์เซ็นต์ (Balogun and Fagbenro, 1995) และเมล็ดอินทผลัม 30 เปอร์เซ็นต์ (Belal and Al-Jasser, 1997) แต่ Omoregie และ Ogbemudia (1993) กลับพบว่าสามารถใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นส่วนประกอบของอาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิลได้เพียง 15 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อพิจารณาค่าโปรตีนต่อพลังงานที่ย่อยได้พบว่า มีค่าเท่ากับ 75 มิลลิกรัมโปรตีนต่อกิโลคาลอรี ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ และน่าจะเป็นเหตุผลที่ทำให้ปลานิลจากการทดลองของ Omoregie และ Ogbemudia (1993) มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ

ส่วนผลการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารพบว่าปลานิลมีความสามารถในการย่อยอาหารทดลองได้ค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับหลายๆ การทดลอง (Shiau *et al.*, 1987; De Silva *et al.*, 1991; Shiau and Liang, 1994) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาสูตรอาหารจากการทดลองอื่นๆ พบว่ามีปลาป่นเป็นองค์ประกอบสูงกว่าสูตรอาหารของการทดลองนี้ ดังนั้นจึงทำให้อาหารมีประสิทธิภาพการย่อยที่ดีกว่า สอดคล้องกับการทดลองของ Serna และคณะ (1996) ที่พบว่าสูตรอาหารที่มีส่วนประกอบของปลาป่นอยู่สูงถึง 63.17 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปลานิลมีความสามารถในการย่อยอาหารสูงถึง 95.78 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นส่วนประกอบของสูตรอาหารของแต่ละการทดลองที่แตกต่างกันมีผลทำให้ประสิทธิภาพการย่อยอาหารมีค่าแตกต่างกัน โดยเฉพาะชนิดของธัญพืช (Viola and Arieli, 1983) แสดงให้เห็นว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ของการทดลองครั้งนี้อาจจะมีส่วนที่ปลานิลไม่สามารถย่อยได้อยู่สูง ถึงแม้ว่ากากถั่วเหลืองจะเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารในปริมาณมาก แต่จากหลายๆ การทดลองพบว่าปลานิลสามารถย่อยวัตถุดิบถั่วเหลืองได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Popma, 1982; Degani *et al.*, 1997) ดังนั้นวัตถุดิบที่มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยอาหารต่ำอาจจะเป็นส่วนของรำละเอียด และแป้งข้าวเจ้า สอดคล้องกับการทดลองของ Hanley (1987) ที่พบว่าความสามารถในการใช้สารอาหารของปลานิลจะลดลง เมื่อมีการใช้ปลายข้าวสาลี (wheat middlings) เพราะทำให้อาหารมีเยื่อใยสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าสูตรอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันผสมอยู่ปลานิลสามารถย่อยได้ต่ำกว่าสูตรอาหารที่ไม่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน อาจเนื่องมาจากกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันมีส่วนประกอบของเยื่อใยส่วนที่เป็นกะลาอยู่ค่อนข้างสูง ซึ่งปลาไม่

สามารถที่จะย่อยได้ จึงทำให้ประสิทธิภาพการย่อยอาหารมีค่าต่ำ สอดคล้องกับ McDonald และคณะ (1981) ที่กล่าวไว้ว่ากากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน มีเยื่อใยสูงทำให้ประสิทธิภาพการย่อยได้ต่ำ เช่นเดียวกับการทดลองของ Boonyaratpalin และ Phromkunthong (2000) ที่ใช้อาหารทดลองที่มีกากปาล์มเป็นส่วนประกอบเลี้ยงปลานิล พบว่าประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลานิลมีค่าอยู่ในช่วง 39.42-47.34 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นขนาดของวัตถุดิบ (Andrews, 1979) และอุณหภูมิของน้ำ (Popma, 1982) ก็มีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยด้วยเช่นกัน ส่วนค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันในทุกการทดลอง แสดงว่าปลานิลสามารถที่จะใช้โปรตีนที่ได้จากวัตถุดิบอาหารประเภทพืชได้ดี และเมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพการย่อยไขมันพบว่ามีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าปลานิลสามารถที่จะย่อยไขมันที่ได้มาจากกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Al-Owafeir และ Belal (1996) ที่พบว่าปลานิลสามารถใช้น้ำมันปาล์มได้ดีกว่าน้ำมันถั่วเหลือง อีกส่วนหนึ่งของเหตุผลที่ทำให้ประสิทธิภาพการย่อยไขมันสูงขึ้นเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันสูงขึ้นก็คือการที่ปลาต้องใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นในกระบวนการสันดาปอาหาร (heat increment) เมื่ออาหารที่ได้รับมีลักษณะที่ย่อยยาก (Halver, 1989; De Silva and Anderson, 1995)

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาและเนื้อปลา พบว่าระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีทุกๆ ค่าของปลา แต่ระดับพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้โปรตีนที่สะสมในตัวปลาลดลง เช่นเดียวกับค่าความชื้นก็มีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Viola และคณะ (1988c); De Silva และคณะ (1991) และ El-Sayed และ Teshima (1992) ถึงแม้จะมีบางรายงานกล่าวไว้ว่าเมื่อมีการเพิ่มระดับพลังงานโดยการเพิ่มระดับไขมันในอาหารจะทำให้โปรตีนที่สะสมในตัวปลาสูงขึ้น เพราะการเพิ่มไขมันในอาหารเพื่อให้ปลาใช้เป็นพลังงาน และรักษาระดับของโปรตีนไว้ใช้ในกิจกรรมที่จำเป็นจริงๆ ได้แก่ การเจริญเติบโต (Hanley, 1991) อย่างไรก็ตามการเพิ่มระดับไขมันเพื่อให้พลังงานในอาหารสูงขึ้นก็มีขีดจำกัดเพราะหากเพิ่มระดับไขมันในอาหารมากถึงระดับหนึ่ง ก็ทำให้การเจริญเติบโตของปลาลดลง และยังส่งผลถึงปริมาณของไขมันที่สะสมในตัวปลาด้วย (Buckley and Groves, 1979; El-Darhhar and Lovell, 1995) เช่นเดียวกับการทดลองนี้ที่พบว่าระดับไขมันในตัวปลามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับของพลังงานในอาหารสูงขึ้น และพบว่ามีการสะสมของไขมันในเนื้อปลาเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีระดับพลังงานสูงถึง 3,900 กิโล

คาลอรีต่อกิโลกรัม แต่ก็ไม่ส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของซากปลานิลเสียไป สอดคล้องกับการศึกษาของ De Silva และคณะ (1991) ที่พบว่าที่ระดับไขมันในอาหารสูงถึง 18 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของไขมันก็ไม่สูงเกินระดับที่คุณภาพซากเสียไป อย่างไรก็ตามระดับไขมันในอาหารที่สูงขึ้นนอกจากจะมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของปลาแล้ว การสะสมไขมันในเนื้อปลายังมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค

เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบเลือด คือ ค่าปริมาณโปรตีนในพลาสมา ฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริต พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปลาปกติ (Wedemeyer and Yasutake, 1977) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ กิจการ และวัชรินทร์ (2530); Fagbenro (1994) และ Booyaratpalin และ Phromkhunthong (2000) แสดงว่าสูตรอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในระดับที่ใช้ในการทดลองนี้มีความสมดุลของสารอาหาร ถึงแม้ว่ากากเนื้อเมล็ดปาล์มน้ำมันจะมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนเมทไทโอนีน ไลซีน และทริพโทเฟนต่ำ (Yeong, 1981) แต่การเลือกปลาป่นคุณภาพสูงมาใช้ร่วมกันเพื่อสร้างเป็นสูตรอาหาร รวมทั้งการใช้วิตามินและแร่ธาตุที่เหมาะสม ทำให้ได้สูตรอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน เมื่อนำมาทดลองเลี้ยงปลาทำให้ปลาสามารถดำรงชีวิตได้อย่างปกติ ส่งผลให้กลไกการทำงานของระบบเลือดเป็นปกติ เช่นเดียวกับค่าดัชนีตับต่อตัวของปลานิลที่พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Fagbenro (1994) และ Booyaratpalin และ Phromkunthong (2000) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1 – 2 เปอร์เซ็นต์ และจากการศึกษาของ De Silva และคณะ (1991) พบว่าปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีระดับพลังงาน (ไขมัน) สูง ทำให้ตับมีขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลให้ค่าดัชนีตับต่อตัวสูงขึ้นโดยมีค่าสูงกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ผลการศึกษาทางเนื้อเยื่อวิทยาของตับก็สอดคล้องกันกล่าวคือไม่พบความผิดปกติในทุกระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน แต่ในทางตรงกันข้ามพบว่าการเพิ่มระดับพลังงานที่ย่อยได้ในระดับที่มากกว่า 3,300 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม พบว่ามีการเกิดช่องว่างในเซลล์ตับโดยเฉพาะที่ระดับพลังงาน 3,900 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม พบช่องว่างจำนวนมาก ซึ่งคาดว่าช่องว่างดังกล่าวที่พบในเซลล์ตับน่าจะเป็นไขมัน (Phromkunthong, 1995) แสดงให้เห็นว่าที่ระดับพลังงาน 3,600 และ 3,900 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม เป็นระดับที่อาจจะสูงเกินไป ไขมันจึงถูกเก็บสะสมไว้ในเซลล์ตับมาก อย่างไรก็ตามเมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อวิทยา พบว่าโครงสร้างของเซลล์ตับยังคงเป็นปกติ แต่จากขอบเขตการศึกษาวิจัยครั้งนี้ยืนยันได้ว่าสามารถใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันได้สูงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร โดยไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบเลือดและตับ

จากการคำนวณราคาต้นทุนการผลิตอาหารโดยคิดเฉพาะราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์เท่านั้นแต่ไม่รวมราคาของวิตามิน แร่ธาตุ สารเหนียว โครมิกซ์ออกไซด์ และเซลลูโลส ทั้งนี้เพราะทำให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบราคาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของวัตถุดิบอาหารสัตว์ของแต่ละสูตรอาหารที่ทดลอง เมื่อพิจารณาราคาค่าอาหารต่อกิโลกรัมพบว่าการเพิ่มกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ทำให้ราคาอาหารลดลงประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ ต่อการเพิ่มระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 15 เปอร์เซ็นต์ แต่ในทางกลับกันการเพิ่มระดับพลังงานกลับทำให้ราคาอาหารสูงขึ้นประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ ต่อการเพิ่มระดับพลังงาน 300 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม เป็นผลเนื่องมาจากราคาน้ำมันมีค่าค่อนข้างสูงทั้งนี้เพราะน้ำมันที่ใช้มีส่วนผสมของน้ำมันปลาอยู่หนึ่งในสองส่วนของน้ำมันที่ใช้ ซึ่งน้ำมันปลาเป็นน้ำมันที่มีราคาสูง (ประมาณ 100 บาทต่อลิตร) และเมื่อนำอาหารสูตรต่างๆ มาทดลองเลี้ยงปลาพบว่า อาหารสูตรที่มีระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 30 เปอร์เซ็นต์ จะมีต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตปลา 1 กิโลกรัมต่ำที่สุดในแต่ละระดับพลังงาน ในขณะที่ระดับพลังงานที่ทำให้ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตปลาต่ำที่สุดคือ 3,300 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม แสดงว่าการเพิ่มระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 30 เปอร์เซ็นต์โดยไม่ต้องเพิ่มระดับไขมันเพื่อให้ระดับพลังงานสูงขึ้น เป็นสูตรอาหารที่เหมาะสมทั้งในด้านคุณค่าทางโภชนาการและทางเศรษฐศาสตร์ โดยมีราคาค่าอาหารกิโลกรัมละ 9.26 บาทเมื่อรวมราคาวิตามิน แร่ธาตุ และต้นทุนการผลิตอื่นๆ ราคาอาหารสูตรดังกล่าวนี้ก็ยังมีราคาต่ำกว่าอาหารสำเร็จรูปที่มีขายตามท้องตลาดทั่วๆ ไป อีกทั้งยังมีระดับโปรตีนที่สูงกว่าซึ่งน่าจะทำให้มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่า ส่งผลให้ระยะเวลาของการเลี้ยงสั้นลง ผลกำไรก็มากขึ้น นับว่าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของเกษตรกรที่จะนำไปประยุกต์ใช้สำหรับผลิตอาหารเพื่อใช้เลี้ยงปลานิลต่อไป

# บทที่ 5

## สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลของระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันต่อการเจริญเติบโตของปลานิลแปลงเพศ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. สูตรอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 30 เปอร์เซ็นต์และมีระดับพลังงานที่ย่อยได้ 3,300 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัมอาหาร เป็นสูตรอาหารที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลานิลวัยรุ่นโดยระดับดังกล่าวนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อ คุณภาพซาก พยาธิสภาพของเนื้อเยื่อตับ ดัชนีตับต่อตัว และองค์ประกอบเลือด

2. กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบอาหารที่ปลานิลสามารถย่อยได้น้อย แต่สามารถใช้สารอาหารจากกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันได้อย่างดี

3. ต้นทุนการผลิตอาหารและต้นทุนค่าอาหารต่อหน่วยการผลิตปลานิล ของอาหารสูตรที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 30 เปอร์เซ็นต์และมีพลังงานที่ย่อยได้ 3,300 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัมอาหาร มีค่าต่ำที่สุด

### ข้อเสนอแนะ

1. สูตรอาหารที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นสูตรอาหารสำหรับการศึกษาวิจัยจึงจำเป็นต้องใช้เซลลูโลสเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารโดยใช้เป็นสารเติมเต็มเพื่อให้สูตรอาหารมีคุณค่าทางโภชนาการสอดคล้องกับการวางแผนการทดลอง แต่เนื่องจากเซลลูโลสมีราคาแพงมาก ดังนั้นหากนำสูตรอาหารดังกล่าวมาผลิตเป็นอาหารสำหรับใช้เลี้ยงปลานิล จะทำให้มีต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูงไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้เลี้ยงจริง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาต่อไปถึงการเพิ่มกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันหรือวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดอื่นๆในระดับที่สูงขึ้นเพื่อทดแทนการใช้เซลลูโลสทั้งหมดในสูตรอาหาร

2. เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ วิตามินและแร่ธาตุที่ใช้ในสูตรอาหารได้มาจากการนำวิตามินและแร่ธาตุแต่ละตัวมาผสมกันเองตามสัดส่วนที่ต้องการซึ่งมีขั้นตอนและวิธีการเตรียมที่ค่อนข้างยุ่งยาก นอกจากนั้นยังทำให้ต้นทุนในส่วนนี้มีค่าสูงขึ้น ไม่เหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้จริง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาสูตรอาหารที่มีองค์ประกอบใกล้เคียงกับการทดลอง

ครั้งนี้แต่ใช้วิตามินและแร่ธาตุผสมสำเร็จรูปที่มีขายโดยทั่วไปแทน เพื่อให้ได้สูตรอาหารที่สามารถแนะนำให้เกษตรกร นำไปใช้ผลิตอาหารเพื่อใช้เลี้ยงปลานิลได้จริง

3. แม้ว่าการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะให้ผลการทดลองที่น่าพอใจคือ สามารถใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันได้สูงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยในตู้ทดลองและปลาที่ใช้ทดลองก็เป็นปลาขนาดเล็ก (2-30 กรัม) ในขณะที่การเลี้ยงปลานิลส่วนใหญ่จะเป็นการเลี้ยงปลาที่มีขนาดใหญ่ (30-500 กรัม) จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาสูตรอาหารที่มีส่วนประกอบของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในระดับที่เหมาะสมสำหรับเลี้ยงปลานิลวัยรุ่น (10-30 กรัม) จนได้ปลาขนาดตลาด (marketable size) ในสภาพการเลี้ยงจริง เช่น เลี้ยงในกระชัง และในบ่อดิน โดยอาศัยแนวทางของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการพัฒนาการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ

# เอกสารอ้างอิง


กรมประมง. 2540. สถิติการประมงแห่งประเทศไทย ปี 2538. กลุ่มสถิติและสารสนเทศการประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมประมง. 2541. คู่มือการเพาะเลี้ยงปลานิลเพศผู้ สายพันธุ์จิตรลดา 2. สถาบันวิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำ, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กิจการ ศุภมาตย์ และวัชรินทร์ รัตนชู. 2530. ผลการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำต่อองค์ประกอบเลือดในปลานิล (*Sarotherodon niloticus*). ว.สงขลานครินทร์ วทท. 9: 471-477.

เครือวัลย์ สถิติรัต. 2542. ตลาดสัตว์น้ำตระกูลปลานิลในบริเวณซีกโลกตะวันตก. จุลสารเศรษฐกิจการประมง 5: 18-22.

ชัยรัตน์ นิลนนท์. 2538. การใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพปาล์มน้ำมัน. ใน ปาล์มน้ำมัน. สงขลา: ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ทวีศักดิ์ นิยมบัณฑิต. 2529. ผลการใช้กากปาล์มน้ำมันชนิดกระเทาะเปลือกในอาหารสุกรขุน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นวลมณี พงศ์ธนา และพุทธรัตน์ เบ้าประเสริฐกุล. 2538. การทดลองเพาะเลี้ยงปลานิลเพศผู้ GMT. ว.ประมง 3: 255-260.

มานพ ตั้งตรงไพโรจน์, ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล, พรรณศรี จริโมภาส, สุจินต์ หนูขวัญ, กำชัย ลาวัณยวุฒิ, วีระ วัชรกรโยธิน และวิมล จันทรโรทัย. 2536. การพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลานิล. เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 23 สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ยุทธนา ศิริวัธนนุกูล และสมเกียรติ ทองรักษ์. 2532. การใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเสริมด้วยกรดอะมิโนสังเคราะห์ แทนรำข้าวในอาหารสุกรระยะเจริญเติบโต (20-60 กก.). ว.สงขลานครินทร์ วทท. 11: 29-36.

วินัย ประลมพ์กาญจน์, วรวิทย์ วณิชาภิชาติ, อุดส่าห์ จันทร์อำไพ และบุญธรรม พฤษวานิช. 2526. การศึกษาระดับที่เหมาะสมของกากปาล์มน้ำมันในสูตรอาหารไก่กระทง. ว.สงขลานครินทร์ วทท. 5: 331-336.

วินัย ประลมพ์กาญจน์, เสาวนิต คูประเสริฐ, สุรพล ชลดำรงค์กุล และสมเกียรติ ทองรักษ์. 2528. ผลของการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันระดับต่าง ๆ ในอาหารสุกรขุน. ว. สงขลานครินทร์ วทท. 7: 137-144.

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2536. อาหารปลา. ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

วุฒิพร พรหมขุนทอง, วิมล จันทรโรทัย, นรินทร์ สงสีจันทร์ และนพพร มานะจิตต์. 2540. ระดับโปรตีนในอาหารที่เหมาะสมต่อปลากดเหลืองขนาดปลานิ้ว. ว.สงขลานครินทร์ วทท. 19: 327-335.

วุฒิพร พรหมขุนทอง, ทัศนีย์ นบนอบ, เรวดี สัจจกุล และกิจการ ศุภมาตย์. 2541. ผลของไขมันระดับต่างๆต่อการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ การใช้ประโยชน์จากอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของปลากดเหลืองขนาดปลานิ้ว. ว.สงขลานครินทร์ วทท. 20: 313-321.

สุดารัตน์ เตชะสีประเสริฐ. 2540. ปาล์มน้ำมัน. ว.ข่าวเศรษฐกิจการเกษตร 43:17-18.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2540. แนวทางพัฒนาปาล์มน้ำมันในแผนฯ (2540-2544) ปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม. ว.ข่าวเศรษฐกิจการเกษตร 43: 3-19.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2541. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก 2539/41. ว. ข่าวเศรษฐกิจการเกษตร 44: 78.

เสาวนิต คูประเสริฐ, วินัย ประลมพ์กาญจน์, สุรพล ชลดำรงค์กุล และสุจิตร์ ชลดำรงค์กุล. 2530. ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีผลต่อคุณภาพของกากปาล์มน้ำมัน. ว. สงขลานครินทร์ วทท. 9: 163-167.

อุทัยรัตน์ ณ นคร. 2529. การเพาะขยายพันธุ์ปลา. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Abdel-Fattah, M., El-Sayed and Teshima, S. 1992. Protein and energy requirements of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*, fry. Aquaculture 103: 55-63.

Abdelghany, A.E. 1997. Optimum ratio between anchovy fish meal and soy protein concentrate in formulated diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). In Tilapia Aquaculture (ed. F. Kevin) Vol. I, pp. 31-39. New York: NRAES.

Al-Hafedh, Y.S. and Siddiqui, A.Q. 1998. Evaluation of guar seed as a protein sources in Nile titapia, *Oreochromis niloticus* (L.) practical diets . Aquacult. Res. 29: 703-708.

Al-Ogaily, S.M., Al-Asgah, N.A. and Ali, A. 1996. Effect of feeding different grain sources on the performance and body composition of tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). Aquacult. Res. 27: 523-529.

Al-Owafeir, M.A. and Belal, I.E.H. 1996. Replacing palm oil for soybean oil in tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) feed. Aquacult. Res. 27: 221-224.

Andrews, J.W. 1979. Some effects of feeding rate on growth, feed conversion and nutrient absorption of channel catfish. Aquaculture 16: 243-246.

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

AOAC. (Association of Official Analytical Chemists). 1985. Official Methods of Analysis. Washington, DC: AOAC.

Babatunde, G.M., Fetuga, B.L., Odemosu, O. and Oyenuga, V.A. 1975. Palm kernel meal as the major protein concentrate in the diets of pigs in the tropics. J. Sci. Fd. Agric. 26: 1279-1291.

Balogun, A.M. and Fagbenro, O. A. 1995. Use of macadamia presscake as protein feedstuff in practical diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). Aquacult. Res. 26: 371-377.

Bancroft, J.D. 1967. Histochemical Techniques. London: Butterworths.

Belal, I.E.H. 1999. Replacing dietary corn with barley seeds in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) feed. Aquacult. Res. 30: 265-269.

Belal, I.E.H. and Al-Jasser, M.S. 1997. Replacing dietary starch with pitted date fruit in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) feed. Aquacult. Res. 28: 385-389.

Belal, I.E.H., Al-Owaifeir, A. and Al-Dosari, M. 1995. Replacing fish meal with chicken offal silage in commercial *Oreochromis niloticus* (L.) feed. Aquacult. Res. 26: 855-858.

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

Boonyaratpalin, M. and Phromkunthong, W. 2000. Effects of Ronozyme treated rice bran and oil palm meal on growth of sex reversed *Tilapia niloticus*. The Sixth Roche Aquaculture Conference Asia Pacific (ed. B. Hunter) Bangkok, Thailand, September 29 2000, pp. 50-63.

Boyd, C.E. 1990. Water Quality in Ponds for Aquaculture. Alabama: Birmingham Publishing Co.

Boyd, C.E. and Tucker, C. S. 1992. Water Quality and Pond Soil Analyses for Aquaculture. Alabama: Auburn University.

Buckley, J.T. and Groves, T.D.D. 1979. Influence of feed on the body composition of fin fish, pp. 335-343. In J.E. Halver and K. Tiews (eds.), Finfish Nutrition and Fishfeed Technology, vol. 1. Heenemann, Berlin.

Chuang, J.C. and Shiau, S.Y. 1993. Intestinal disaccharidase activity, plasma glucose level, body composition and growth of tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus* fed different carbohydrates. From Discovery to Commercialization. (eds. M. arrillo, L. Dahle, J. Morales, P. Sorgeloos, N. Svennevig and J. Wyban). Oostende Belgium European Aquaculture Soc. 19: 213.

Davis, A.T., and Stickney, R.R. 1978. Growth responses of *Tilapia aurea* to dietary protein quality and quantity. Trans. Am. Fish. Soc. 107: 469-483.

Davies, S.J., McConnell, S. and Bateson, R.I. 1990. Potential of rapeseed meal as an alternative protein sourced in complete diets for tilapia, *Oreochromis mossambicus* (Peters). Aquaculture 87: 145-154.

Degani, G. and Revach, A. 1991. Digestive capability of three commensal fish species: Carp, *Cyprinus carpio* L., tilapia, *Oreochromis aureus* x *O. niloticus*, and African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). Aquacult. Fish. Manage. 22: 397- 403.

Degani, G., Viola, S. and Yehuda, Y. 1997. Apparent digestibility of protein and carbohydrate in feed ingredients for adult tilapia, (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus* ). Isr. J. Aquacult. -Bamidgeh 49: 115-123.

De Silva, S.S., Gunasekera, R.M. and Smith, K.F. 1991. Interaction of varying dietary protein and lipid levels in young red tilapia: evidence of protein sparing. Aquaculture 95: 305-318.

De Silva, S.S. and Anderson, T.A. 1995. Fish nutrition in aquaculture. London : Chapman & Hall.

Devendra, C. 1977. Utilization of feedingstuffs from the oil palm. Proceedings of Symposium. (eds. C. Devendra and R. I. Hutagalung), Faculty of Medicine, National University of Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia, 17-19 October 1977. pp. 116-131.

Dupree, H.K. and Sneed, K.P. 1966. Response of channel catfish fingerling to different levels of major nutrients in purified diets. U.S. Bureau of Sports Fish and Wildlifte Tech. Pap. No.9.

El-Dahhar, A.A. and El-Shazly, A. 1993. Effect of essential amino acids (methionine and lysine) and treated oil in fish diet on growth performance and feed utilization of Nile tilapia *Oreochromis mossambicus*. Aquacult. Fish. Manage. 24: 731-739.

El-Dahhar, A.A. and Lovell, R.T. 1995. Effect of protein to energy ratio in purified diets on growth performance, feed utilization and body composition of Mozambique tilapia, *Oreochromis mossambicus* (Peter). Aquacult. Res. 26: 451-457.

El-Sayed, A. F. M. 1992. Effect of substituting fish meal with *Azolla pinnata* in practical diets for fingerling and adult Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). Aquacult. Fish. Manage. 23: 167-173.

El-Sayed, A.F.M. 1998. Total replacement of fish meal with animal protein sources in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) feed. Aquacult. Res. 29: 275-280.

El-Sayed, A.F.M. and Teshima, S. 1992. Protein and energy requirements of Nile, *Oreochromis niloticus*, fry. Aquaculture 103: 55-63.

Erfanullah and Jafri, A.K. 1995. Protein-sparing effect of dietary carbohydrate in diets for fingerling *Labeo lohita.* Aquaculture 136: 331-339.

Fagbenro, O.A. 1994. Dried fermented fish silage in diets for *Oreochromis niloticus.* Isr. J. Aquacult. -Bamidgeh 46: 140-147.

FAO. 1994. FAO Yearbook : Fishery Statistic Catches and Landing. Fishery Statistic Bulletin for the South China Sea Area. Rome: FAO.

Fetuga, B.L., Babatunde, G.M. and Oyenuga, V.A. 1977. The value of palm kernel: the proportion of protein contribution from blood meal and palm kernel meal on the performance and carcass quality of finishing plags. J. Agric. Sci. Comb. 88: 663-669.

Finemen-Kelio, A.S. and Camacho, A.S. 1987. The effects of supplemental feeds containing different protein: energy ratios on the growth and survival of *Oreochromis niloticus* (L.) in brackishwater ponds. Aquacult. Fish. Manage. 18: 139-149.

Furukawa, A. and Tsukahara, H. 1966. On the acid digestion method for the determination of chromic oxides as an index substance in the study of digestibility of fish feed. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 32: 502-506.

Halver, J. E. 1989. Fish Nutrition 2nd. edn, New York: Academic Press.

Hanley, F. 1987. The digestibility of foodstuffs and the effects of feeding selectivity on digestibility determination in tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). Aquaculture 66: 163-179.

Hanley, F. 1991. Effects of feeding supplementary diets containing varying levels of lipid on growth, food conversion and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). Aquaculture 93: 323-334.

Hanley, F., Morris, D., Carberry, J., Anderson ,R. and Alexander, L. 1997. Growth performence and economics of feeding red hybrid tilapia diets containing varying level of protein. In Tilapia Aquaculture (ed. F. Kevin) Vol. I, pp. 13-19. New York: NRAES.

Humason, G.L. 1972. Animal Tissue Technique, 4th. ed. San Francisco. CA: W.H. Freeman and Company.

Jackson, A.J., Capper, B.S. and Matty, A.J. 1982. Evaluation of some plant proteins in complete diets for tilapia (*Sarotherodon mossambicus).* Aquaculture 27: 97-109.

Jauncey, K. 1982. The effects of varying dietary protein level on the growth, feed conversion, protein utilization and body composition of juvenile tilapias (*Sarotherodon mossambicus).* Aquaculture 27: 43-54.

Jauncey, K., Tacon, A.J. and Jackson, A.J. 1983. The quantitative essential amino acid requirements of *Oreochromis (=Sarotherodon) mossambicus.* (eds. L. Fishelson and Z. Yaron). Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University Press, Nazareth, Israel, pp. 328-337.

Kanazawa, A., Teshima, S-T., Sakamoto, M. and Awal, M.A. 1980. Requirement of *Tilapia zillii* for essential fatty acids. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 48: 587–590.

Kevin, F. 1997. Introduction to Tilapia Nutrition. In Tilapia Aquaculture (ed. F. Kevin) Vol. I, pp. 9-12. NewYork: NRAES.

Larsen, H.M. and Snieszko, S.F. 1961. Modification of the microhematocrit technique with trout blood. Trans. Am. Fish. Soc. 90: 139-142.

Lovell, T. 1988. Nutrition and Feeding of Fish. New York : Van Nostrand Reinhold.

Lovell, T. 1991. Replacing fish meal in channel catfish diets. In : G.L. Allan and W. Dall (eds.). The Proceedings of the Aquaculture Nutrition Workshop. Saramander Bay, NSW, Australia. 15-17 April 1991, pp. 118-121.

Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. J. Biol. Chem. 193: 265-275.

Mazid, M.A., Tannska, Y., Katayama, T., Rahman, M.A., Simpson, K.L. and Chichester, C.O. 1979. Growth response of *Tilapia zillii* fingerlings fed isocaloric diets with variable protein levels. Aquaculture 18: 115-122.

McDonald, P., Edward, R.A. and Greenhalgh, J.F.D. 1981. Animal Nutrition. London: Longman.

NRC (National Research Council). 1993. Nutrient Requirement of Fish. National. Washington D.C: Academy Press.

Nwokolo, E. N., Bragg, O.B. and Saben, H. S. 1977. A nutritive evaluation of palm kernel meal for use in poultry rations. Tropical Science. 19: 147-154.

Omoregie, E. and Ogbemudia, F. I. 1993. Effect of substituting fish meal with palm kernel meal on growth and food utilization of the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Isr. J. Aquacult. -Bamidgeh 45: 113-119.

Phromkunthong, W. 1995. Studies on the Importance of Water-Soluble Vitamin in Diet of Three Teleost Fish (*Lates calcalifer, Epinephelus malabaricus, Brachydanio rerio*) Ph.D. Thesis. University of Heidelberg, Heidelberg, Federal Republic of Germany. 212 pp.

Pongmaneerat, J. 1992. Studies on the utilization of alternative protein sources in diets for rainbow trout and carp. Ph.D. Thesis, Tokyo Univ. Tokyo. 225 pp.

Popma, T.J. 1982. Digestibility of selected feedstuffs and naturally accurring algae by tilapia. Ph.D. Dissertation, Auburn University, Auburn, AL, USA. 78 pp.

Pouomogne, V., Takam, G. and Pouemegene, J.B. 1997. A preliminary evaluation of cacao husks in practical diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture 156: 211-219.

Robinson, E.H. and Li, M.H. 1994. Use of plant proteins in catfish feeds replacement of soybean meal with cottonseed meal and replacement of fish meal with soybean meal and cotton seed meal. J. World. Aqua. Soc. 25: 271-276.

Robinson, E.H. and Wilson, R.P. 1985. Nutrition and feeding. In Channal Catfish Culture. (ed. C.S. Tucker) Developments in Aquaculture and Fisheries Science, 15, pp. 323-404. Amsterdam: Elsevier.

Rojas, J.B.U. and Weerd, H.V. 1997. The growth and feed utilization of *Oreochromis aureus* fingerling fed diets with various coffee pulp levels. In Tilapia Aquaculture (ed. F. Kevin) Vol. I, pp. 40-49. NewYork: NRAES.

Santiago, C.B. and Laron, M.A. 1991. Growth response and carcass composition of red tilapia fry fed diets with varying protein levels and protein to energy ratios. Proceeding of the Third Asian Fish Nutrition Network Meeting. (ed. S.S. De Silva), Special Publication of the Asian Fisheries Society, Manila, Philippines. pp. 55-62.

Santiago, C.B. and Lovell, R.T. 1988. Amino acid requirements for growth of Nile tilapia. J. Nutr. 118: 1540-1546.

Serna, M.R., Novoa, M.A.O. and Osalde, C.C. 1996. Nutritional value of animal by-product meal in practical diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fry. Aquacult. Res. 27: 67-73.

Shiau, S.Y. 1997. Utilization of carbohydrates in warmwater fish-with particular reference to tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus.* Aquaculture 151: 79-96.

Shiau, S.Y., Chuang, J.L. and Sun, C.L. 1987. Inclusion of soybean meal in tilapia, *(Oreochromis niloticus x O. aureus)* diets at two protein levels. Aquaculture 65: 251-261.

Shiau, S.Y. and Kwok, C.C. 1989. Effects of cellulose, agar, carrageenan, guar gum and carboxymethylcellulose on tilapia growth. World Aquaculture 20: 60.

Shiau, S.Y. and Liang, H.S. 1994. Nutrient digestibility and growth of hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus x O. aureus,* as influenced by agar supplementation at two dietary protein levels. Aquaculture 127: 41-48.

Shiau, S.Y. and Lin, S.F. 1993. Effect of supplemental dietary chromium and vanadium on the utilization of different carbohydrates in tilapia, *Oreochromis x O. aureus.* Aquaculture 110: 321-330.

Shiau, S.Y., Lin, S.F., Yu, S.L., Lin, A.L. and Kwok, C.C. 1990. Defatted and full-fat soybean meal as partial replacements for fish meal in tilapia (*Oreochromis niloticus x O. aureus)* diets at low protein level. Aquaculture 86: 401-407.

Shiau, S.Y., Pan, B.S., Chen, S., Yu, H.L. and Lin, S.L. 1988. Successful use of soybean meal with a methionine supplement to replace fish meal in diets fed to milk fish (*Chanos chanos*). J. World. Aqua. Soc. 1: 14-19.

Shiau, S.Y. and Peng, C.Y. 1993. Protein-sparing effect by carbohydrates in diets for tilapia, *Oreochromis niloticus x O. aureus.* Aquaculture 117: 327-334.

Shiau, S.Y. and Shy, S.M. 1998. Dietary chromic oxide inclusion level required to maximize glucose utilization in hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus.* Aquaculture 161: 357-364.

Shiau, S.Y. and Suen, G.S. 1992. Estimation of the niacin requirements of tilapia fed diets containing glucose or dextrin. J. Nutr. 122: 2030-2036.

Shimeno, S., Kheyyali, D. and Shikata, T. 1995. Metabolic response of carbohydrate to protein ratio in carp. Fishery Science 61: 277-281.

Siddiqui, A.Q., Howlader, M.S. and Adam, A.A. 1988. Effet of dietary protein levels on growth, feed conversion and protein utilization in fry and young Nile tilapia, *Oreochromis niloticus.* Aquaculture 70: 63-73.

Stickney, R.R. 1979. Principles of Warmwater Aquaculture. New York: John Wiley & Sons.

Stickney, R.R. and Lovelly, R.T. 1977. Nutrition and feeding of channel catfish. Southern Cooperative Series. Bulletin 218. U.S. Department of Agriculture.

Stickney, R. R. and Wurts, W.A. 1986. Growth response of blue tilapia to selected levels of dietary menhaden and catfish oils. Prog. Fish-Cult. 48: 107-109.

Spyridakis, P., Metailler, R., Gabaudan, J. and Riaza, A. 1989. Studies on nutrient digestibility in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). Aquaculture 77: 61-70.

Tacon, A.G.J., Jauncey, K., Falayne, A., Pantha, M., Macgowen, I. and Stafford, E.A. 1983. The use of meat and bone meal, hydrolysed feather meal and soybean in practical fry and fingerling diets for *Oreochromis niloticus.* (eds. L. Fishelson and Z. Yaron). Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University Press, Nazareth, Israel, pp. 336-365.

Takeuchi, T., Hernandez, M. and Watanabe, T. 1994. Nutritive value of gelatinized corn meal as a carbohydrate source to grass carp and hybrid tilapia *Oreochromis niloticus x O. aureus.* Fishery Science 60: 573-577.

Takeuchi, T., Satoh, S. and Watanabe, T. 1983a. Dietary lipids suitable for the practical feed of *Tilapia nilotica.* Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 49: 1361-1365.

Takeuchi, T., Satoh, S. and Watanabe, T. 1983b. Requirement of *Tilapia nilotica* for fatty acids. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 49: 1127-1134.

Teshima, S., Kanazawa, A. and Uhiyama, Y. 1986. Effect of several protein sources and other factors on the growth of *Tilapia nilotica.* Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 52: 525-530.

Tung, P.H. and Shiau, S.Y. 1991. Effects of meal frequency on growth performance of hybrid tilapia *Oreochromis niloticus x O. aureus.* Aquaculture 92: 343-350.

Viola, S. and Arieli, Y. 1982. Nutrition studies with a high-protein pellet for carp and *Sarotherodon* spp. (tilapia). Isr. J. Aquacult. -Bamidgeh 34: 39-46.

Viola, S. and Arieli, Y. 1983. Evaluation of different grains as basic ingredients in complete feeds for carp and tilapia in intensive culture. Isr. J. Aquacult. -Bamidgeh 35: 38-43.

Viola, S., Arieli, Y. and Mokady, S. 1988a. Effects of long-term feeding of fish oil coated pellets on tilapia and carp growth, body fat composition and tolerance to cold. Isr. J. Aquacult. -Bamidgeh 40: 64-68.

Viola, S., Arieli, Y. and Zohar, G. 1983. Unusual feedstuffs (Tapioca and Lupin) as ingredients for carp and tilapia feeds in intensive culture. Isr. J. Aquacult. -Bamidgeh 35: 29-34

Viola, S., Arieli, Y. and Zohar, G. 1988b. Animal protein free feeds for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus x O. aureus)* in intensive culture. Aquaculture 75: 115-125.

Viola, S., Angeoni, H., Gur, N. and Lahav, E. 1994. Growth performance, protein and energy balances of hybrid tilapia fed two levels of lysine at three levels of protein. Isr. J. Aquacult. -Bamidgeh 46: 212-222.

Viola, S., Mokady, S., Behar, D. and Cogan, U. 1988c. Effects of polyunsaturated fatty acids in feeds tilapia and carp. I. Body composition and fatty acid profiles at different environmental temperatures. Aquaculture 75: 127-137.

Viola, S. and Zohar, G. 1984. Nutrition studies with market size hybrids of tilapia *(Oreochromis niloticus x O. aureus)* in intensive culture 3 protein levels and sources. Isr. J. Aquacult. -Bamidgeh 36: 3-15.

Wang, K.W., Takeuchi, T. and Watanabe, T. 1985. Effect of dietary protein levels on growth of *Tilapia niloticus.* Bull. Jap. Soc. Sci. Fishery 51: 141-146.

Wee, K.L. and Shu, S.W. 1989. The nutritive value of boiled full-fat soybean in pelleted feed for Nile tilapia. Aquaculture 81: 303-314.

Wee, K. and Tuan, N.A. 1988. Effects of dietary protein level on growth and reproduction in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus).* Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture (eds. R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai and J.L. Maclean) Bangkok, Thailand, 16-20 March 1987, pp. 401-410.

Wee, K.L. and Wang, L.L. 1987. Nutritive value of Leucaena leaf meal in pelleted feed for nile tilapia. Aquaculture 6: 97-108.

Wedemeyer, G. A. and Yasutake, W. T. 1977. Clinical Methods for the Assessment of the effects of Environmental Stress on Fish Health. U.S. Fish Wildl. Serv. Tech. Pap. 89: 1-18.

Winfree, R.A. and Stickney, R.R. 1981. Effects of dietary protein and energy on growth, feed conversion efficiency and body composition of *Tilapia aureus.* J. Nutr. 111: 1001-1012.

Wiseman, J. 1987. Feeding of Non-Ruminant Livestock. London: Butterworths.

Yeong, S.W. 1981. Biological Utilization of Palm By-Products by Chickens. Ph.D. Dissertation. University of Malaysia.

Yong, W.Y., Takeuchi, T. and Watanabe, T. 1989. Relationship between digestible energy contents and optimum energy to protein ratio in *Oreochromis niloticus* diets. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 55: 869-873.

Zeitoun, I.H., Tack, P.I. , Halver, I.E. and Ullrey, D.E. 1973. Influence of salinity on protein requirements of rainbow trout, *Salmo gairdneri* fingerling. J. Fish. Res. Board Can. 30: 1867-1873.

Zhongji, L., Wu, L. and Yungia, Y. 1996. Effects of dietary levels of carbohydrate, lipid, phosphorus and zinc on the growth and feed conversion of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). The Third International Symposium on Tilapia in Aquaculture. (eds. R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kottias and D. Pauly). Makati City Philippines ICLARM. pp. 411- 554.

# ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก.
## วิธีการวิเคราะห์

**1. การวิเคราะห์ความชื้น (ตามวิธีการของ AOAC, 1985)**

1. นำขวดชั่งเข้าตู้อบอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที และทำให้เย็นในโถดูดความชื้น

2. ชั่งและบันทึกน้ำหนักของขวดชั่งโดยละเอียด

3. ชั่งตัวอย่างใส่ขวดชั่งประมาณ 5 กรัม โดยบันทึกน้ำหนักอย่างละเอียด

4. นำตัวอย่างเข้าตู้อบ โดยใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

5. นำตัวอย่างที่อบแล้วใส่โถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น บันทึกน้ำหนักของตัวอย่าง

6. ทำซ้ำตามข้อ 1 ถึง 5 จนกระทั่งน้ำหนักที่ได้คงที่ โดยน้ำหนักที่หายไปคือน้ำหนักของความชื้น

คำนวณ % ความชื้นด้วยสมการ

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

เมื่อ a = น้ำหนักของอาหารก่อนอบแห้ง

b = น้ำหนักของอาหารหลังอบแห้ง

w = น้ำหนักของอาหารก่อนอบ

**2. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ตามวิธีการของ AOAC, 1985)**

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ

2. นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนเถ้าเป็นสีขาว

3. นำเข้าโถอบแห้ง เพื่อให้ดูดความชื้น และเมื่อตัวอย่างอาหารเย็นดีแล้ว นำออกชั่งทันที

คำนวณ % เถ้าด้วยสมการ

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

เมื่อ a = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ

b = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบกับน้ำนักของเถ้าภายหลังการเผา

w = น้ำหนักของอาหารก่อนเผา

**3. การวิเคราะห์หาโปรตีน (ตามวิธีการของ AOAC, 1985)**

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก ($H_2SO_4$) เข้มข้น 93 - 98 %

2. สารเร่งรวม (catalyst mixture)

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

3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 45% (NaOH)

โดยละลาย 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 มิลลิลิตร ให้ร้อนแล้วใส่ผงกรดบอริคลงไป 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 - 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ชั่งสารมา 1.325 กรัม เติมน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร

วิธีการ

**ก. ขั้นตอนการย่อย (digestion)**

1. ชั่งตัวอย่างอาหารให้ได้น้ำหนักประมาณ 1 กรัม โดยชั่งด้วยกระดาษกรองที่ปราศจากสารไนโตรเจนแล้วใส่ในขวดแก้ววิเคราะห์โปรตีน

2. เติมสารเร่งรวม 10 กรัม เพื่อเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกริยาการย่อย

3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร

4. นำไปย่อยด้วยชุดเครื่องย่อยโปรตีน ที่อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส กระทั่งสารละลายในขวดแก้ววิเคราะห์โปรตีนใส ทิ้งไว้ให้เย็น

**ข. ขั้นตอนการกลั่น (distillation)**

1. เมื่อสารละลายเย็นดีแล้ว จึงเติมน้ำกลั่นลงไปให้ได้ปริมาตรประมาณ 300 มิลลิลิตร

2. ใส่ลูกแก้ว 2 ลูก เพื่อป้องกันการกระแทกของสารละลาย

3. ต่อขวดแก้ววิเคราะห์โปรตีนเข้ากับเครื่องกลั่นที่มีขวดปากแคบวัดปริมาตร ซึ่งมีกรดบอริค 40 มิลลิลิตรอยู่ โดยให้ปลายของหลอดแก้วที่ต่อจากกระบอกแก้วควบแน่นจุ่มอยู่ในกรดบอริค เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในขวดแก้ววิเคราะห์ช้าๆ จนกระทั่งสารละลายมีสีดำ

4. ใส่อินดิเคเตอร์ในกรดบอริค 2 - 3 หยด

5. ทำการกลั่นจนกระทั่งไม่มีแก๊สแอมโมเนียออกมาแล้วทำการกลั่นต่อไปอีก 10 นาที แล้วล้างปลายเครื่องกลั่นด้วยน้ำกลั่น นำขวดปากแคบวัดปริมาตรออกจากเครื่องกลั่น

**ค. ขั้นตอนการไตเตรท (titration)**

1. นำไปไตเตรทด้วยกรดเกลือมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น (0.1 นอร์มอล) จนถึงจุดยุติ (end point) โดยใช้อินดิเคเตอร์รวม สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินอ่อน

2. จดปริมาตรของกรดเกลือไว้เพื่อคำนวณต่อไป

การคำนวณ

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

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 - 3 หยด ทำการไตเตรตด้วยสารละลายกรดเกลือ 0.1 นอร์มอล คำนวณความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือโดยใช้สูตร

$$N_1V_1 = N_2V_2$$

**4. การวิเคราะห์หาไขมัน (ใช้เครื่อง Soxtec System HT6)**

**สารเคมี**

1. สารละลายคลอโรฟอร์ม (chloroform)
2. เมทธานอล (methanol)

**วิธีการ**

1. อบถ้วยพร้อมลูกแก้ว ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 8 ชั่วโมงทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

2. อบตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

3. ชั่งน้ำหนักถ้วยพร้อมลูกแก้ว ($w_1$)

4. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ใส่กระดาษกรองประมาณ 1 - 2 กรัม ($w_2$) ห่อให้มิดชิด ใส่ลงในไส้กรอง (thimble) ที่เตรียมไว้ นำไปใส่เข้าเครื่อง Soxtec System HT6

5. นำถ้วยพร้อมลูกแก้วที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้วมาเติม คลอโรฟอร์ม : เมทานอล ในอัตราส่วน 2 :1 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วใส่เข้าเครื่องให้เรียบร้อย

6. เปิดเครื่อง ปรับอุณหภูมิไปที่ 160 องศาเซลเซียส เปิดน้ำเข้าเครื่อง เปิดวาล์ว เลื่อนปุ่มไปที่ boiling ต้มให้เดือด 30 นาที

7. เลื่อนปุ่มไปที่ rinsing เพื่อล้างตัวอย่าง 20 นาที

8. ปิดวาล์ว เปิดสวิทซ์อากาศ เลื่อนปุ่มไปที่ evaporation เพื่อให้สารระเหยออกไป 5 นาที

9. ปิดเครื่อง อากาศและน้ำ แล้วเลื่อนปุ่ม evaporation กลับที่เดิม นำถ้วยออกจากเครื่อง แล้วนำไปอบที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 คืน

10. นำถ้วยออกมาใส่โถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก ($w_3$)

การคำนวณหา % ไขมัน

$$\% \text{ ไขมัน} = \frac{w_3 - w_1}{w_2} \times 100$$

เมื่อ $w_1$ = น้ำหนักถ้วยพร้อมลูกแก้ว

$w_2$ = น้ำหนักตัวอย่าง

$w_3$ = น้ำหนักถ้วยพร้อมลูกแก้วและไขมันหลังอบ

**5. การวิเคราะห์ค่าพลังงานในอาหาร (ใช้เครื่อง Gallenkamp autobomb)**

วิธีการ

นำอาหารที่ต้องการหาค่าพลังงานมาบดให้ละเอียดแล้วนำไปอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ดอาหาร นำไปอบที่ 65 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ใส่ในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก และนำไปวัดพลังงานโดยใช้เครื่องวัดพลังงาน ของ Gallenkamp autobomb

คำนวณพลังงานโดยใช้สูตรดังนี้

ความร้อนจำเพาะ (heat capacity)

$$= \frac{(\text{พลังงานของ benzoic} \times \text{น้ำหนัก benzoic}) + \text{พลังงานเส้นด้าย} + \text{พลังงานลวดที่ใช้ไป}}{\text{อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส)}}$$

เมื่อ พลังงานของ benzoic = 26,441 จูล

พลังงานเส้นด้าย = 58.58 จูลต่อ 12 เซนติเมตร

พลังงานลวดที่ใช้ไป = 2.05 จูลต่อ 1 เซนติเมตร

พลังงานของอาหาร

$$= \frac{(\text{ความร้อนจำเพาะ} \times \text{อุณหภูมิน้ำที่เพิ่มขึ้นของอาหาร}) - \text{พลังงานลวด} - \text{พลังงานเส้นด้าย}}{\text{น้ำหนักอาหาร (กรัม)}}$$

หน่วยเป็น จูลต่อกรัม แปลงเป็นแคลอรี่ = จูลต่อ 4.18 = แคลอรี่ต่อกรัมอาหาร

**6. การวิเคราะห์หาโครมิคออกไซด์ (ตามวิธีการของ Furukawa and Tsukahara, 1966)**

1. ชั่งตัวอย่าง 50 ถึง 100 มก. ใส่ใน Kjeldahl flask

2. เติมกรดไนตริก (nitric acid) เข้มข้น 5 มิลลิลิตร นำไปย่อยประมาณ 20 นาที

3. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติมกรดเปอคลอริค (perchloric acid) 3 มิลลิลิตร นำไปย่อยอีกครั้งจนสารละลายสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีส้มหรือแดง ย่อยต่ออีก 10 นาที

4. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรสารละลายให้ครบ 100 มิลลิลิตร

5. นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับน้ำกลั่น คำนวณค่าปริมาณโครมิคออกไซด์โดยใช้สมการ

$$y = 0.2525x + 0.0073$$

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสง

x = ปริมาณโครมิคออกไซด์ (มิลลิกรัมต่อ100 มิลลิลิตร)

**7. วิธีการเตรียมตัวอย่างและวิธีการศึกษาพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อ (Bancroft, 1967)**

**สารเคมี**

1. สารละลายบูแอง (Bouin's solution) เตรียมโดยใช้

| | |
|---|---|
| ฟอร์มาลีน (formalin) | 25 มิลลิลิตร |
| กรดพิคริค (saturated aqueous picric acid) | 75 มิลลิลิตร |
| กรดอะซิติกเข้มข้น | 5 มิลลิลิตร |

ผสมเข้าด้วยกัน

2. สีย้อมฮีมาทอกซิลิน (haematoxylin) เตรียมโดยใช้

| | |
|---|---|
| ฮีมาทอกซิลิน (haematoxylin crystal) | 4 กรัม |
| โซเดียมไอโอเดท (sodium iodate) | 0.8 กรัม |
| อลัม (potasium aluminium sulfate, alum) | 100 กรัม |
| กรดซิตริก (citric acid) | 4 กรัม |
| คลอรัลไฮเดรท (chloral hydrate) | 200 กรัม |

น้ำกลั่น 2,000 มิลลิลิตร

ละลายอลัมลงในน้ำกลั่น เติมฮีมาทอกซิลินผสมจนกระทั่งละลายหมด จึงเติมโซเดียมไอโอเดทผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมกรดซิตริกและคลอรัลไฮเดรทผสมจนกระทั่งเป็นเนื้อเดียวกันทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ก่อนนำมาใช้งาน

3. สีย้อมอีโอซิน (eosin) เตรียมโดยใช้

อีโอซิน (eosin Y.Cl 45380) 1 กรัม

เอทธิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ (ethyl aclohol) 1,000 มิลลิลิตร

กรดอะซิติกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร

ผสมเข้าด้วยกัน

การเตรียมตัวอย่าง

1. สลบปลาด้วยสารละลายควินาดีน (quinaldine) 50 ส่วนในล้านส่วน

2.ใช้กรรไกรผ่าตัดเปิดช่องท้องของปลาออก ตัดตับออกแล้วดองในน้ำยาบูแองทันที เก็บรักษาตัวอย่างในน้ำยาดองดังกล่าวเป็นเวลา 1 สัปดาห์ แล้วจึงเปลี่ยนน้ำยาดองเป็นเอทธิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ และสามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็นเวลานาน

**ขั้นตอนการ dehydration และ embedding**

1.ตบแต่งตัวอย่าง (trim) ที่ผ่านการดองแล้วให้มีขนาดพอเหมาะเพื่อสะดวกต่อการ embed และนำไปตัด section

2.นำตัวอย่างไปผ่านขั้นตอน dehydration ด้วยเครื่องเตรียมเนื้อเยื่ออัตโนมัติ (automatic tissue processor) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

| ขั้นตอนที่ | สารละลาย | เวลา (ชั่วโมง) |
|---|---|---|
| 1 | แอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์ | 1 |
| 2 | แอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ | 1 |
| 3 | แอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ | 1 |
| 4 | แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ | 1 |
| 5 | แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ | 1 |

| ขั้นตอนที่ | สารละลาย | เวลา (ชั่วโมง) |
|---|---|---|
| 6 | แอบโซลูท แอลกอฮอล์ (absolute alcohol) | 1 |
| 7 | ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol) | 1 |
| 8 | ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ | 1 |
| 9 | ไซลีน (xylene) | 1 |
| 10 | ไซลีน | 1 |
| 11 | พาราพลาสท์ (paraplast) | 1 |
| 12 | พาราพลาสท์ | 1 |

3. นำตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนในข้อ 4.3.2 ไป embed ด้วยพาราพลาสท์ จากนั้นนำ block ไปแช่ตู้เย็นเพื่อง่ายต่อการนำไปตัด section ต่อไป

4. ตบแต่งตัวอย่างที่อยู่ใน block ให้มีขนาดพอดีกับขนาดสไลด์ และ cover grass ปิดได้สนิท จากนั้นนำไปตัดด้วยเครื่องตัดเนื้อเยื่อไมโครโตม (microtome) ให้มีความหนาประมาณ 3 - 4 ไมครอน นำไปลอยในน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 45 - 50 องศาเซลเซียส

5. ใช้แผ่นสไลด์ช้อนตัวอย่าง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลาข้ามคืน

6. นำสไลด์ไปผ่านขบวนการย้อมสีฮีมาทอกซิลินและอีโอซิน โดยมีขั้นตอนดังนี้

| ขั้นตอนที่ | สารละลาย | เวลา (นาที) |
|---|---|---|
| 1 | ไซลีน | 2 |
| 2 | ไซลีน | 2 |
| 3 | ไซลีน | 2 |
| 4 | ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ | 1 |
| 5 | ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ | 1 |
| 6 | แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ | 1 |
| 7 | แอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ | 1 |
| 8 | แอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์ | 1 |
| 9 | น้ำกลั่น | 1 |

| ขั้นตอนที่ | สารละลาย | เวลา (นาที) |
|---|---|---|
| 10 | ฮีมาทอกซิลิน | 20 |
| 11 | น้ำประปา | 1 |
| 12 | น้ำกลั่น | 1 |
| 13 | แอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์ | 1 |
| 14 | อีโอซิน | 2 |
| 15 | แอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ | 2 |
| 16 | แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ | 2 |
| 17 | แอบโซลูท แอลกอฮอล์ | 2 |
| 18 | ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ | 2 |
| 19 | ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ | 2 |
| 20 | ไซลีน | 2 |
| 21 | ไซลีน | 2 |
| 22 | ไซลีน | 2 |

7. mount slide ด้วยน้ำยาเปอร์เมาท์ (permount) แล้วนำตัวอย่างไปศึกษาพยาธิสภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์

**8. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ** (ตามวิธีการของ Boyd and Tucker, 1992)

**การวิเคราะห์ค่าความเป็นด่างของน้ำ**

**สารเคมี**

1. ฟีนอลฟ์ทาลีน อินดิเคเตอร์: เตรียมโดยละลายฟีนอลฟ์ทาลีน (phenolphthalein) 0.5 กรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % จนได้ปริมาณครบ 100 ลิตร

2. เมทิลออเรนจ์ อินดิเคเตอร์: เตรียมโดยละลายเมทิลออเรนจ์ 0.5 กรัม ในน้ำกลั่นที่กำจัดอิออนแล้ว จนได้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

3. เมทิลเรด อินดิเคเตอร์: เตรียมโดยละลายเมทิลเรด 0.5 กรัม ในน้ำกลั่นที่กำจัดอิออนแล้ว จนได้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

4. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.2 นอร์มอล: เตรียมโดยค่อยๆ เทกรดซัลฟูริกเข้มข้น 6 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น (ที่ต้มเดือดใหม่ๆ แล้งเปิดฝาทิ้งให้เย็น) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร

5. สารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 นอร์มอล: เตรียมโดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนตซึ่งอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที หรือที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้งทำให้เย็นในโถดูดความชื้นจำนวน 10.6 กรัม ละลายในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดใหม่ๆ ปิดฝาแล้วทำให้เย็น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร

**การตรวจหาความเข้มข้นของสารละลาย**

1. ดูดสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 นอร์มอล ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร

2. หยดเมทิลเรด อินดิเคเตอร์ 5 หยด เขย่าให้ผสมกันจะได้สารละลายสีเหลือง

3. ไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู

4. นำส่วนผสมทั้งหมดไปต้มจนเดือดเป็นเวลาประมาณ 3-5 นาที เพื่อไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้หมด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอีกครั้ง

5. ไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกต่อไปจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอีกครั้งหนึ่ง

6. บันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกทั้งหมดที่ใช้ไป

การคำนวณความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก (นอร์มอล)

$$\text{ความเข้มข้น(นอร์มอล)} = \frac{0.2 \times 25}{\text{ปริมาตร(มิลลิลิตร)ของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ใช้}}$$

หลังจากนั้นทำการปรับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.02 นอร์มอล โดยใช้สูตร

$$N_1V_1 = N_2V_2$$

$N_1$ = ความเข้มข้นของสารละลายที่จะปรับค่า $N_2$ = ความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการ

$V_1$ = ปริมาตรของสารละลายที่จะปรับค่า $V_2$ = ปริมาตรของสารละลายที่ต้องการ

วิธีการวิเคราะห์

1.นำตัวอย่างน้ำ 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ลิตร

2.หยดฟีนอลท์ทาลีน อินดิเคเตอร์ 10 หยด เขย่าให้ผสมกัน

2.1 ถ้าสารละลายใส ให้ทำข้อ 3 ต่อไป

2.2 ถ้าสารละลายสีชมพู จะต้องไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก จนกระทั่งสารละลายสีชมพูนั้นหายไป บันทึกปริมาตรที่ใช้ไป (นำไปรวมกันปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ใช้ไปในข้อ 4 ) ทำต่อไปในข้อ 3.

3. หยดเมทิลออเรนจ์ 2-3 หยด เขย่าให้ผสมกันจะได้สารละลายสีเหลือง

4. ไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 นอร์มอล จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีส้ม จดปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟูริกทั้งหมดที่ใช้ไป

การคำนวณค่าความเป็นด่างของน้ำ

ความเป็นด่าง(มิลลิกรัม$CaCO_3$ ต่อลิตร) = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ใช้ X 10

**9. การวิเคราะห์องค์ประกอบเลือด**

**9.1 การหาค่าฮีมาโตคริต (% haematocrit)** (ตามวิธีของ Larsen and Sneizsko, 1961)

1.นำเลือดที่เจาะได้ใหม่ๆ ใส่ในหลอดเล็กๆ สำหรับหาค่าฮีมาโตคริต (microhaematocrit capillary tube) ประมาณครึ่งหลอด อุดปลายด้านหนึ่งของหลอดด้วยดินน้ำมัน

2. ปั่นด้วยฮีมาโตคริตเซนตริฟิวจ์ (haematocrit centrifuge) ที่แรงเหวี่ยง 10,000 – 15,000 รอบต่อนาทีนานประมาณ 5 – 10 นาที

3. วัดหาอัตราส่วนของปริมาตรเม็ดเลือดกับปริมาตรเลือดทั้งหมด นำมาคำนวณหาค่า % ฮีมาโตคริตจากสูตร

$$\% \text{ ฮีมาโตคริต} = \frac{\text{ปริมาตรของเม็ดเลือดอัดแน่น (มิลลิเมตร)} \times 100}{\text{ปริมาตรเลือดทั้งหมด (มิลลิเมตร)}}$$

**9.2 การหาค่าฮีโมโกลบินรวม (total haemoglobin)**

**สารเคมี**

สารละลายเดรบกิ้น (Drabkin's solution) : เตรียมโดยละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) 1 กรัม โปแตสเซียมไซยาไนด์ (KCN) 0.05 กรัม และโปแตสเซียมเฟอร์ริกไซยาไนด์ ($K_3Fe(CN)_6$) 0.20 กรัม ในน้ำกลั่นที่กลั่น 2 ครั้ง จนได้ปริมาตรครบ 1,000 ลิตร เก็บสารละลายที่ได้ไว้ในขวดทึบแสง มีอายุใช้งาน 6 เดือนที่อุณหภูมิห้อง

**วิธีการวิเคราะห์**

1. ใช้ไมโครปิเปตขนาด 20 ไมโครลิตรดูดเลือดที่เจาะได้ใหม่ๆ มาผสมรวมกับ สารละลายเดรบกิ้น (Drabkin's solotion ) 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดีแล้วทิ้งไว้อย่างน้อย 20 นาที

2. นำส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

3. ค่าที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับค่าฮีโมโกลบินมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น โดยใช้เดรบกิ้นเป็นแบลงค์ (blank)

4. เตรียมฮีโมโกลบินมาตรฐาน (standard haemoglobin) ที่มีความเข้มข้น 0, 4.5, 9 และ 18 กรัมต่อเดซิลิตร (gm/dl) นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

5. นำค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบินมาตรฐาน และค่าการดูดกลืนแสง(OD) ที่ได้มาเขียนกราฟมาตรฐาน โดยให้ค่าความเข้มข้นอยู่ในแกน X และค่าการดูดกลืนแสงอยู่แกน Y แล้วหาสมการสหสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linear regression) เพื่อใช้คำนวณค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบินในเลือด จากค่าการดูดกลืนแสง

**9.3 การหาค่าโปรตีนรวมในซีรัมหรือพลาสมา (total serum or plasma protein)**

**สารเคมี**

1. สารละลายอัลคาไลด์คอปเปอร์ (Alkaline copper solution) : เตรียมโดยใช้ 1 % โซเดียมคาร์บอเนต ($Na_2CO_3$) ใน 0.5 M NaOH 50 ส่วน ผสมกับ 1 % โซเดียมทาร์เตรต ($C_4H_4Na_2O_6$) 1 ส่วน และ 0.5 % $CuSO_4.5H_2O$ อีก 1 ส่วน เก็บสารละลายผสมไว้ในขวดทึบแสง ถ้ามีตะกอนเกิดขึ้นให้เตรียมใหม่

2. Folin reagent 1:10 เตรียมโดยผสม Folin ciocalteu reagent 1 ส่วนกับน้ำกลั่นที่กลั่น 2 ครั้ง 10 ส่วน เก็บไว้ในขวดทึบแสง

วิธีการวิเคราะห์

1. ดูดซีรัมมา 5 ไมโครลิตร ผสมรวมกับน้ำกลั่น 995 ไมโครลิตร

2. เติม alkaline copper solution 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เท่ากันแล้วทิ้งไว้ 10 นาที

3. เติม folin reagent 1:10 ลงไป 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน สังเกตสีของสารละลายที่เปลี่ยนแปลง

4. เมื่อครบ 5 นาทีแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเลือดปลาที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับค่าแอลบูมินมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นโดยใช้แบลงค์ (blank) ที่เตรียมขึ้นตามขั้นตอนนี้แต่ไม่เติมซีรัม

การเตรียมกราฟมาตรฐาน(standard curve) ของซีรัมโปรตีน

1. ดูดสารละลายมาตรฐานแอลบูมิล (standard albumin) ความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองหลอดละ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 และ 1.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ

2. เติมน้ำกลั่นลงไปหลอดละ 0.9, 0.7, 0.5, 0.3, 0.1 และ0 มิลลิลิตร ตามลำดับ จะได้ความเข้มข้นของแอลบูมินในแต่ละหลอดเท่ากับ 50, 150, 250, 350, 450 และ 500ไมโครกรัม ตามลำดับ

3. นำแต่ละหลอดมาทำตามขั้นตอนของการหาซีรัมโปรตีนในเลือดดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น

4. นำค่าความเข้มข้นของแอลบูมิน และค่าการดูดกลืนแสง (OD) ที่ได้มาเขียนกราฟมาตรฐาน โดยให้ค่าความเข้มข้นอยู่ในแกน X และค่าการดูดกลืนแสงอยู่แกน Y หาสมการสหสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linear regression) เพื่อใช้คำนวณค่าความเข้มข้นของโปรตีนรวมในเลือดจากค่าการดูดกลืนแสง

## ภาคผนวก ข

## ผลการทดลองจากการวิเคราะห์แบบ Factorial

ตารางผนวก ข ที่ 1 น้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และอัตรารอดตาย ของปลาที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

| พารามิเตอร์ | ระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน (%) | ระดับพลังงานที่ย่อยได้ (กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 3,300 | 3,600 | 3,900 | Mean ± S.D. |
| อัตรารอด (%) | 0 | 98.33±2.89 | 98.33±2.89 | 99.33±5.77 | 98.66±0.58 |
| | 15 | 100 | 100 | 90.00±10.00 | 96.67±5.77 |
| | 30 | 100 | 98.33±2.89 | 96.67±5.70 | 98.33±1.67 |
| | Mean ± S.D. | 99.44±0.96 | 98.89±0.96 | 95.33±4.81 | ns |
| น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม) | 0 | 31.78±1.06$^{a}$ | 28.43±2.56$^{ab}$ | 24.52±2.94$^{b}$ | 28.24±3.63 |
| | 15 | 33.19±3.40$^{a}$ | 32.81±2.86$^{a}$ | 24.89±1.58$^{b}$ | 30.30±4.69 |
| | 30 | 34.87±3.61 | 29.25±3.67 | 30.48±3.06 | 31.53±2.95 |
| | Mean ± S.D. | 33.28±1.55 | 30.16±2.33 | 26.63±3.34 | ns |

[1] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของข้อมูล 3 ซ้ำ

$^{abc}$ ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p>0.05$)

$^{xyz}$ ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p>0.05$)

ตารางผนวก ข ที่ 2 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

| พารามิเตอร์ | ระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน (%) | ระดับพลังงานที่ย่อยได้ (กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 3,300 | 3,600 | 3,900 | Mean ± S.D. |
| น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น | 0 | 1,353.62±58.51$^{a}$ | 1,147.93±89.12$^{b}$ | 957.53±103.57$^{cy}$ | 1,153.03±198.09 |
| (%) | 15 | 1,352.09±85.83$^{a}$ | 1,314.01±98.22$^{a}$ | 1,008.86±84.12$^{by}$ | 1,233.99±195.04 |
| | 30 | 1,418.76±212.79 | 1,239.05±151.59 | 1,244.84±136.33$^{x}$ | 1,300.88±102.12 |
| | Mean ± S.D. | 1,374.82±38.06$^{a}$ | 1,242.66±96.59$^{ab}$ | 1,070.41±153.22$^{b}$ | ns |
| อัตราการเจริญ | 0 | 3.82±0.06$^{a}$ | 3.60±0.10$^{b}$ | 3.36±0.14$^{cy}$ | 3.59±0.23 |
| เติบโตจำเพาะ | 15 | 3.82±0.08$^{a}$ | 3.81±0.10$^{a}$ | 3.43±0.11$^{by}$ | 3.69±0.22 |
| (%) | 30 | 3.88±0.21 | 3.70±0.17 | 3.71±0.14$^{x}$ | 3.76±0.10 |
| | Mean ± S.D. | 3.84±0.03$^{a}$ | 3.70±0.11$^{ab}$ | 3.50±0.19$^{b}$ | ns |

[1] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของข้อมูล 3 ซ้ำ

$^{abc}$ ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p>0.05$)

$^{xyz}$ ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p>0.05$)

ตารางผนวก ข ที่ 3 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

| พารามิเตอร์ | ระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน (%) | ระดับพลังงานที่ย่อยได้ (กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 3,300 | 3,600 | 3,900 | Mean ± S.D. |
| อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ | 0 | 1.74±0.09 | 1.73±0.20 | 2.23±0.44 | 1.90±0.29 |
| | 15 | 1.73±0.03 | 1.63±0.08 | 1.94±0.20 | 1.77±0.16 |
| | 30 | 1.87±0.07 | 1.79±0.14 | 1.77±0.25 | 1.81±0.05 |
| | Mean ± S.D. | 1.78±0.08 | 1.72±0.08 | 1.98±0.23 | ns |
| ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน | 0 | 2.75±0.03$^{x}$ | 2.76±0.20 | 2.40±0.35 | 2.64±0.21 |
| | 15 | 2.73±0.04$^{abx}$ | 2.88±0.06$^{a}$ | 2.60±0.14$^{b}$ | 2.74±0.14 |
| | 30 | 2.35±0.08$^{y}$ | 2.68±0.12 | 2.84±0.21 | 2.69±0.15 |
| | Mean ± S.D. | 2.68±0.11 | 2.77±0.10 | 2.61±0.22 | * |
| การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (%) | 0 | 38.40±0.93 | 36.58±3.19 | 30.86±5.67 | 35.28±3.93 |
| | 15 | 38.96±1.75 | 40.04±2.40 | 35.73±3.10 | 38.24±2.24 |
| | 30 | 36.03±2.28 | 36.98±1.73 | 38.69±3.39 | 37.23±1.35 |
| | Mean ± S.D. | 37.80±1.56 | 37.87±1.89 | 35.09±3.95 | ns |

[1] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของข้อมูล 3 ซ้ำ

$^{abc}$ ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p>0.05$)

$^{xyz}$ ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p>0.05$)

ตารางผนวก ข ที่ 4 ส่วนประกอบทางโภชนาการของซากปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆเป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

| พารามิเตอร์ | ระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน (%) | ระดับพลังงานที่ย่อยได้ (กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 3,300 | 3,600 | 3,900 | Mean ± S.D. |
| ความชื้น (%) | 0 | 76.30±0.47 | 75.79±0.92 | 75.89±0.96 | 75.99±0.27 |
| | 15 | 75.91±0.72 | 75.13±0.91 | 75.41±1.07 | 75.48±0.39 |
| | 30 | 76.07±0.75 | 75.98±0.49 | 75.43±0.81 | 75.83±0.35 |
| | Mean ± S.D. | 76.09±0.20 | 75.63±0.45 | 75.58±0.27 | ns |
| โปรตีน (%) | 0 | 59.17±0.16$^{a}$ | 55.16±0.09$^{bz}$ | 54.31±0.40$^{cz}$ | 56.21±2.60 |
| | 15 | 59.12±0.29$^{a}$ | 56.14±0.31$^{by}$ | 56.28±0.11$^{bx}$ | 57.18±1.68 |
| | 30 | 59.23±0.22$^{a}$ | 57.72±0.48$^{bx}$ | 55.75±0.21$^{cy}$ | 57.57±1.75 |
| | Mean ± S.D. | 59.17±0.06$^{a}$ | 56.34±1.29$^{b}$ | 55.45±1.02$^{b}$ | ns |
| ไขมัน (%) | 0 | 24.41±1.06$^{cx}$ | 27.93±3.52$^{b}$ | 31.39±0.80$^{ax}$ | 27.91±3.49 |
| | 15 | 21.28±0.33$^{by}$ | 27.85±0.73$^{a}$ | 27.27±1.14$^{ay}$ | 27.47±0.33 |
| | 30 | 25.72±1.12$^{bx}$ | 25.20±0.37$^{b}$ | 29.85±1.23$^{ax}$ | 26.92±2.55 |
| | Mean ± S.D. | 25.80±1.44 | 26.99±1.55 | 29.50±2.08 | ns |

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$^{abc}$ ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p>0.05$)

$^{xyz}$ ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p>0.05$)

ตารางผนวก ข ที่ 5 ส่วนประกอบทางโภชนาการของเนื้อปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆเป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

| พารามิเตอร์ | ระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน (%) | ระดับพลังงานที่ย่อยได้ (กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 3,300 | 3,600 | 3,900 | Mean ± S.D. |
| ความชื้น (%) | 0 | 79.08±0.17 | 78.73±0.47 | 78.22±0.73 | 78.68±0.43 |
| | 15 | 78.72±0.40 | 78.42±0.40 | 78.38±0.72 | 78.51±0.19 |
| | 30 | 77.70±0.18 | 78.63±0.28 | 77.54±0.47 | 77.96±0.59 |
| | Mean ± S.D. | 78.50±0.72 | 78.59±0.16 | 78.05±0.45 | ns |
| โปรตีน (%) | 0 | 86.74±0.37$^{a}$ | 85.27±0.60$^{b}$ | 83.34±0.28$^{cx}$ | 85.12±1.71 |
| | 15 | 86.89±0.28$^{a}$ | 85.42±0.13$^{a}$ | 78.84±2.57$^{by}$ | 83.72±4.29 |
| | 30 | 86.94±0.77$^{a}$ | 86.25±0.80$^{a}$ | 83.62±0.37$^{bx}$ | 85.60±1.75 |
| | Mean ± S.D. | 86.86±0.10$^{a}$ | 85.65±0.53$^{a}$ | 81.93±2.68$^{b}$ | ns |
| ไขมัน (%) | 0 | 8.85±0.93$^{c}$ | 10.97±0.71$^{b}$ | 13.36±0.66$^{a}$ | 11.06±2.26 |
| | 15 | 9.37±0.37$^{b}$ | 10.54±0.48$^{ab}$ | 12.50±1.76$^{a}$ | 10.80±1.58 |
| | 30 | 10.14±0.40$^{b}$ | 10.59±0.19$^{b}$ | 15.22±0.82$^{a}$ | 11.98±2.81 |
| | Mean ± S.D. | 9.45±0.65$^{b}$ | 10.70±0.24$^{b}$ | 13.69±1.39$^{a}$ | ns |

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$^{abc}$ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p>0.05$)

$^{xyz}$ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p>0.05$)

ตารางผนวก ข ที่ 6 ประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

| พารามิเตอร์ | ระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน (%) | ระดับพลังงานที่ย่อยได้ (กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 3,300 | 3,600 | 3,900 | Mean ± S.D. |
| วัตถุแห้ง | 0 | $56.57\pm2.66^{bx}$ | $59.31\pm1.70^{bx}$ | $66.42\pm3.49^{ax}$ | $60.77\pm5.08^{x}$ |
| (%) | 15 | $45.63\pm3.76^{y}$ | $46.18\pm3.35^{y}$ | $47.66\pm3.01^{y}$ | $47.16\pm1.35^{y}$ |
| | 30 | $45.49\pm3.65^{y}$ | $45.39\pm4.39^{y}$ | $46.74\pm2.54^{y}$ | $45.78\pm0.60^{y}$ |
| | Mean ± S.D. | 49.23±6.36 | 50.96±7.36 | 53.52±11.19 | ns |
| โปรตีน | 0 | $85.27\pm0.19^{ax}$ | $85.52\pm0.16^{ax}$ | $83.85\pm0.49^{b}$ | 84.88±0.90 |
| (%) | 15 | $84.47\pm0.26^{y}$ | $83.56\pm0.28^{y}$ | 83.59±0.74 | 83.87±0.52 |
| | 30 | $85.41\pm0.28^{ax}$ | $83.82\pm0.10^{by}$ | $83.61\pm0.03^{b}$ | 84.28±0.98 |
| | Mean ± S.D. | 85.05±0.51 | 84.30±1.06 | 83.68±0.14 | ns |
| ไขมัน | 0 | $69.16\pm0.39^{cz}$ | $74.42\pm0.37^{az}$ | $71.86\pm0.59^{bz}$ | $71.81\pm2.63^{z}$ |
| (%) | 15 | $84.62\pm0.36^{ay}$ | $81.33\pm0.43^{cy}$ | $83.61\pm0.22^{by}$ | $83.19\pm1.69^{y}$ |
| | 30 | $91.04\pm0.03^{ax}$ | $90.55\pm0.06^{bx}$ | $87.81\pm0.13^{cx}$ | $89.80\pm1.74^{x}$ |
| | Mean ± S.D. | 81.61±11.2 | 82.10±8.09 | 81.09±8.27 | ns |

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$^{abc}$ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p>0.05$)

$^{xyz}$ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p>0.05$)

ตารางผนวก ข ที่ 7 ต้นทุนค่าอาหารต่อหน่วยการผลิตปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและพลังงานระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

| ระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน | ระดับพลังงานที่ย่อยได้ (กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม) | | | |
|---|---|---|---|---|
| (%) | 3,300 | 3,600 | 3,900 | Mean ± S.D. |
| 0 | 21.32±0.84 $^{bx}$ | 25.77±2.97 $^{b}$ | 39.13±7.66 $^{a}$ | 28.74±9.27 |
| 15 | 18.40±0.33 $^{by}$ | 21.71±1.07 $^{b}$ | 30.95±3.26 $^{a}$ | 23.69±6.50 |
| 30 | 17.33±0.68 $^{by}$ | 21.29±1.61 $^{ab}$ | 25.77±3.69 $^{a}$ | 21.46±4.22 |
| Mean ± S.D. | 19.02±2.07 $^{b}$ | 22.92±2.47 $^{b}$ | 31.95±6.74 $^{a}$ | ns |

[1] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของข้อมูล 3 ซ้ำ

$^{abc}$ ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p>0.05$)

$^{xyz}$ ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p>0.05$)

ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย = น้ำหนักอาหารที่ปลากิน(กรัม) x ราคาอาหาร(บาท) / น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น(กรัม)

(คิดเฉพาะค่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยไม่รวมค่าวิตามิน แร่ธาตุ สารเหนียว โครมิกซ์ออกไซด์ และเซลลูโลส)

# ประวัติผู้เขียน

**ชื่อ** นายนิรุทธิ์ สุขเกษม

**วัน เดือน ปีเกิด** 18 ตุลาคม 2509

**วุฒิการศึกษา**

| วุฒิ | ชื่อสถาบัน | ปีที่สำเร็จการศึกษา |
|---|---|---|
| วิทยาศาสตรบัณฑิต (วาริชศาสตร์) | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ | 2532 |

**ทุนการศึกษา** ทุนอุดหนุนการศึกษาภายในประเทศโครงการพัฒนาการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ในสถาบันราชภัฏ พ.ศ. 2541

**ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน** อาจารย์ 1 ระดับ 5 คณะเกษตรและอุตสาหกรรม
สถาบันราชภัฏภูเก็ต ถ. เทพกษัตรีย์ ต. รัษฎา อ. เมือง
จ. ภูเก็ต 83000