



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ)

ปริญญา

เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของกากมะพร้าวและกากมันสำปะหลังต่อการเจริญเติบโต การย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ของอาหารในปลาดุกลูกผสม (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*)

Effect of Copra Meal and Cassava Pulp on Growth, Digestibility and Feed Utilization in Hybrid Catfish (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*)

نامผู้วิจัย นายณัฐพงศ์ เมืองสุวรรณ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรพินท์ จินตสถาพร, วท.ค.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ศรีน้อย ชุ่มคำ, วท.ค.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สังศรี มหาสวัสดิ์, วท.ม.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วราห์ เทพาคูดี, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจฉกหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของกากมะพร้าวและกากมันสำปะหลังต่อการเจริญเติบโต การย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ของ
อาหารในปลาคูกลูกผสม (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*)

Effect of Copra Meal and Cassava Pulp on Growth, Digestibility and Feed Utilization in Hybrid
Catfish (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*)

โดย

นายณัฐพงศ์ เมืองสุวรรณ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ)

พ.ศ. 2550

ณัฐพงศ์ เมืองสุวรรณ 2550: ผลของกากมะพร้าวและกากมันสำปะหลังต่อการเจริญเติบโต การย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ของอาหารในปลาดุกลูกผสม (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*)
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ) สาขาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
ประธานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรพินท์ จินตสถาพร, วท.ค. 74 หน้า

ผลของการใช้กากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังต่อการเจริญเติบโต การย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ของอาหารในปลาดุกลูกผสมขนาดเริ่มต้น 62.33-64.67 กรัม เป็นเวลา 2 เดือน โดยใช้อาหารระดับโปรตีน 30 % พลังงาน 2,800 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังในอาหารที่ระดับ 0, 10, 15 และ 20 % ผลการศึกษาพบว่า ความคงทนของอาหารเม็ดในน้ำ และการเกิดเจลลาติไนเซชัน หรือความสุกของแป้งในอาหารไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) จากการศึกษาในระยะเวลา 2 เดือนพบว่า การเจริญเติบโตของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว 15 % มีค่าการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและต้นทุนค่าอาหารดีที่สุด ($p<0.05$) โดยมีน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน 1.14 กรัม/ตัว/วัน อัตราการเปลี่ยนอาหาร 1.43 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน 2.31 และต้นทุนค่าอาหารที่ 18.23 บาท/ปลา 1 กก. สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอาหารที่ผสมกากมะพร้าวและกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 และ 20 % ในอาหารของปลาดุกลูกผสมมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยมีค่า 81.14, 80.84 และ 80.29 % ตามลำดับ ค่าทางโลหิตวิทยาได้แก่ค่า ฮีโมโกลบิน, ฮีมาโตคริต และ จำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดง ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังเป็นเวลา 1 และ 2 เดือนไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) ในเดือนที่ 2 ระดับไตรกลีเซอไรด์ในเลือดของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมันสำปะหลังที่ระดับ 10-20 % จะมีค่าต่ำกว่าในชุดควบคุม ($p<0.05$) ระดับน้ำตาลในเลือดของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมันสำปะหลัง 20 % เป็นเวลา 1 เดือนจะมีค่าต่ำที่สุด ($p<0.05$) แต่ในเดือนที่ 2 ระดับน้ำตาลในเลือดของปลาดุกลูกผสม ทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) ปริมาณไกลโคเจนในตับของปลาดุกลูกผสมไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง ($p>0.05$) ดังนั้นปลาดุกลูกผสมขนาดประมาณ 60-120 กรัมสามารถใช้ประโยชน์จากอาหารที่ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังได้ดีที่ระดับ 15 และ 10 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

Nuttapong Muangsuwan 2007: Effect of Copra Meal and Cassava Pulp on Growth, Digestibility and Feed Utilization in Hybrid Catfish (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*). Master of Science (Aquaculture), Major Field: Aquaculture, Department of Aquaculture. Thesis Advisor: Assistant Professor Orapint Jintasathaporn, Ph.D. 74 pages.

Effect of copra meal and cassava pulp on growth performance, feed digestibility and diet utilization in hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*) of 62.33 – 64.67 g. was studied for the feeding period of 2 months. The diet including copra meal or cassava pulp 0, 10, 15 and 20 % were prepared by contained 30 % crude protein and isocaloric diets was 2,800 kcal/kg. The result demonstrated that water stability and gelatinization of treatment diets were not significantly different ($p>0.05$). The hybrid catfish fed copra meal 15% for 2 months showed highest growth performance, protein efficiency, lowest feed conversion ratio and production cost for 1 kilogram fish ($p<0.05$). Average daily weight gain was 1.14 gm/fish/day, protein efficiency was 2.31, feed conversion ratio was 1.43 and production cost for 1 kilogram fish was 18.23 baths. Digestibility coefficient of 0% and 20% copra meal and 20% cassava pulp feed was not significantly different ($p>0.05$). There were 81.14%, 80.84 % and 80.29 %, respectively. Hemoglobin, hematocrit and red blood cell of fish fed with copra meal and cassava pulp for 1 and 2 months show no difference ($p>0.05$). Blood triglyceride of catfish fed with cassava pulp 10-20 % was lower than the control feed (without copra meal and cassava pulp) ($p<0.05$). Blood glucose in fish fed with cassava pulp 20 % for 1 month was lowest ($p<0.05$), whereas that of 2 month showed no significant difference ($p>0.05$). Glycogen in liver of hybrid catfish was not significantly different ($p>0.05$). The result indicated that hybrid catfish with average size of 60-120 g. can use copra meal or cassava pulp up to 15% and 10%, respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรพินท์ จินตสถาพร ประธานกรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีน้อย ชุ่มคำ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รองศาสตราจารย์ ส่งศรี มหาสวัสดิ์ กรรมการที่ปรึกษาวิชาการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ กาญจนา พัฒนานุรักษ์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษาคำแนะนำและตรวจทานแก้ไข ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณสุทิน สมบูรณ์, คุณบัณฑิต ยวงสร้อย, คุณรุ่งกาญจกัถาหาญ, คุณณรงค์ ฤทธิไชย รวมถึงพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ที่สโมสรนิสิตบัณฑิตศึกษาศาखाพะเลียงสัตว์น้ำ บุคลากรที่ภาควิชาพะเลียงสัตว์น้ำ และศูนย์พัฒนาเทคโนโลยีอาหารสัตว์น้ำทุกท่าน ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และการอำนวยความสะดวกในทุกเรื่อง จนกระทั่งงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว เมืองสุวรรณ ทุกคน ที่สนับสนุนช่วยเหลือในการทำงานวิจัย ตลอดจนเป็นกำลังใจอันสำคัญ จนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

ณัฐพงศ์ เมืองสุวรรณ

กุมภาพันธ์ 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	29
อุปกรณ์	29
วิธีการ	30
ผลการทดลอง	40
วิจารณ์ผลการทดลอง	59
สรุป	64
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	66

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อุณหภูมิเจลาตินในเซชันของแป้งต่าง ๆ กำหนดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบ Kofler	9
2	ปริมาณใยอาหารที่พบในวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ	13
3	องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง	18
4	คุณค่าทางโภชนาของกากมะพร้าว (รื้อยะ)	21
5	ปริมาณกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ในกากมะพร้าว	22
6	ส่วนประกอบของอาหารปลาคุณภาพผสมที่ใช้กากมะพร้าวและกากมันสำปะหลังเป็นส่วนผสม ที่ระดับต่าง ๆ	30
7	ความคงทนของอาหารปลาคูที่ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ ในน้ำเป็นระยะเวลา 10 และ 60 นาที (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)	39
8	เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลาตินในซีของแป้งในอาหารที่ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ กัน	40
9	น้ำหนักเฉลี่ยของปลาคูคุณภาพที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังในระดับต่างๆเป็นระยะเวลา 1 เดือน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE)	42
10	ประสิทธิภาพของอาหาร ของปลาคูคุณภาพที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง ที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 1 เดือน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE)	43
11	องค์ประกอบเลือดของปลาคูคุณภาพที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 1 เดือน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)	45
12	ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในเลือด ไกลโคเจนในตับและกลูโคสในเลือดของปลาคูคุณภาพที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 1 เดือน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)	46
13	น้ำหนักเฉลี่ยของปลาคูคุณภาพที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังในระดับต่างๆเป็นระยะเวลา 2 เดือน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE)	49

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	ประสิทธิภาพของอาหาร ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง ที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 2 เดือน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE)	50
15	องค์ประกอบเลือดของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 2 เดือน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)	52
16	ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในเลือด ไกลโคเจนในตับ และกลูโคสในเลือด ของปลาดุกลูกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 2 เดือน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)	53
17	ประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์ (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE)	56

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ความคงทนของอาหารปลาดุกที่ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ กันในน้ำ เป็นเวลา 10 และ 60 นาที	41
2	เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลาคีโนซของอาหารที่ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง ที่ระดับต่าง ๆ โดยใช้เอนไซม์ Amyloglucosidase	41
3	น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้น น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุด น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย และปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อตัวของปลาดุกลูกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ กันเป็นเวลา 1 เดือน	44
4	น้ำหนักเพิ่มต่อตัวต่อวัน อาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหาร และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาดุกลูกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ กันเป็นเวลา 1 เดือน	44
5	องค์ประกอบเลือดของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 1 เดือน	47
6	ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในเลือด และกลูโคสในเลือดของปลาดุกลูกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 1 เดือน	47
7	ปริมาณ ไกลโคเจนในตับของปลาดุกลูกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าวและกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 1 เดือน	48
8	น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้น น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุด น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยและปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อตัวของปลาดุกลูกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ กันเป็นเวลา 2 เดือน	51
9	น้ำหนักเพิ่มต่อตัวต่อวัน อาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารและประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาดุกลูกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ กันเป็นเวลา 2 เดือน	51
10	องค์ประกอบเลือดของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 2 เดือน	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
11	ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในเลือด และกลูโคสในเลือดของปลาดุกลูกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 2 เดือน	54
12	ปริมาณ ไกลโคเจนในตับของปลาดุกลูกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าวและกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 2 เดือน	55
13	สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอาหารของปลาดุกที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์	57

**ผลของกากมะพร้าวและกากมันสำปะหลังต่อการเจริญเติบโต การย่อยได้
และการใช้ประโยชน์ของอาหารในปลาดุกลูกผสม
(*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*)**

**Effect of Copra Meal and Cassava Pulp on Growth, Digestibility and Feed
Utilization in Hybrid Catfish (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*)**

คำนำ

ปัจจุบันการเลี้ยงปลาดุกน้ำจืดของประเทศไทย เกือบทั้งหมดจะเป็นปลาดุกลูกผสม หรือ ปลาดุกบิ๊กอุย (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*) เนื่องจากมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดี ระยะเวลาการเลี้ยงน้อย และมีความต้านทานโรคมกกว่าปลาดุกอุย โดยแต่เดิมการเลี้ยงปลาดุก ลูกผสมจะให้อาหารประเภทอาหารสด ซึ่งได้แก่ ไล่ไก่ กระดุกไก่ ไล่ปลา ปลาเบ็ด หรือเศษอาหาร จากโรงงาน เป็นต้น จึงมักจะมีปัญหาเรื่องไม่สามารถหาอาหารสดมาเลี้ยงได้เพียงพอ ปัญหาเรื่องน้ำ เน่าเสีย ไม่สามารถควบคุมคุณภาพน้ำได้ ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคตามมาในที่สุด และมักจะมีอัตรา แลกเนื้อสูง ทำให้ต้นทุนการเลี้ยงสูงขึ้นไปด้วย ปัจจุบันผู้เลี้ยงปลาดุกจึงนิยมหันมาเลี้ยงโดยใช้อาหาร สำเร็จรูปมากขึ้น เนื่องจากง่ายต่อการเลี้ยงและการหาอาหาร สามารถเลี้ยงส่งตลาดได้เร็วขึ้น อัตรา การเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดี นอกจากนี้อาหารสำเร็จรูปยังมีคุณค่าทางโภชนาสูงและครบถ้วนตาม ความต้องการของปลา เช่น โปรตีน พลังงาน วิตามิน แร่ธาตุและสารกระตุ้นการเจริญเติบโต

การผลิตอาหารเม็ดใช้เองภายในฟาร์มจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการช่วยลดต้นทุนค่าอาหาร เนื่องจากสามารถกำหนดชนิดของวัตถุดิบ และปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมกับชนิดของสัตว์น้ำ ได้ นอกจากนี้อาหารเม็ดยังให้อัตราแลกเนื้อต่ำที่ประมาณ 1.5-2.0 (วีรพงศ์, 2536) การผลิต อาหารเม็ดใช้เองภายในฟาร์มเกษตรกรสามารถเลือกใช้วัตถุดิบเหลือใช้ที่หาได้ง่ายภายในท้องถิ่น เช่น กากมะพร้าวคั้นสด จากโรงงานที่ใช้น้ำกะทิเป็นส่วนประกอบ หรือ กากมันสำปะหลังที่เหลือ ใช้จากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งวัตถุดิบดังกล่าวมีปริมาณของแป้งอยู่ประมาณ 50-65 เปอร์เซ็นต์ โดยแป้งเหล่านี้เมื่อได้รับความร้อนจากกระบวนการอัดเม็ด จะเกิดการเปลี่ยนสภาพเป็น สารที่มีความเหนียวตัวช่วยในการยึดเกาะอาหารให้มีความคงตัวมากขึ้น แต่เนื่องจากตัวกาก มะพร้าวและกากมันสำปะหลังจะมีย่อยอยู่ประมาณร้อยละ 14-21 ซึ่งจะเป็นส่วนที่ขัดขวาง กระบวนการย่อยและดูดซึมสารอาหารของสัตว์ที่ไม่เคี้ยวเอื้อง นอกจากนี้อาหารเม็ดที่ผลิตขึ้นเอง

นั้นมีข้อดี คือ สามารถทราบและกำหนดปริมาณสารอาหารที่ปลาจะได้รับในแต่ละมื้อ และ ลดปริมาณต้นทุนในการผลิต การผลิตอาหารเม็ดใช้ภายในฟาร์มโดยใช้เครื่องบดเนื้อ (MINCER) มีหลักการคือ ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ควรเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่าย และมีราคาถูกแต่ทั้งนี้ต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ของปลา และขั้นตอนในการอัดเม็ดอาหารต้องให้ความชื้นและความร้อนที่สามารถทำให้ตัวอาหารมีความสุกทั่วถึงทำให้แป้งในอาหารเกิดเป็นสารเหนียวยึดเกาะให้อาหารมีความคงทนมากขึ้น ดังนั้นการนำกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่เป็นส่วนที่เหลือใช้จากกระบวนการอุตสาหกรรมมาผลิตอาหารเม็ดจมน และศึกษาการใช้ประโยชน์ของอาหารในปลาคุณลักษณะ จะเป็นแนวทางสำหรับผู้สนใจจะนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาระดับที่เหมาะสมของการใช้กากมันสำปะหลังและกากมะพร้าวในอาหารปลาที่ผลิตโดยเครื่องบดเนื้อ (MINCER) โดยพิจารณา ความคงทนของอาหารเม็ดในน้ำ และความสุขของแป้ง หรือ การเกิดเจลาตินในเซชัน
2. ศึกษาประสิทธิภาพของอาหารเม็ดที่ผสมกากมะพร้าวและกากมันสำปะหลัง ต่อการเติบโต และการใช้ประโยชน์อาหารในปลาคุกกูกผสม
3. ศึกษาประสิทธิภาพของอาหารเม็ดที่ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังต่อล้มประสิทธิภาพการย่อยของอาหารในปลาคุกกูกผสม

การตรวจเอกสาร

อาหารปลา

ประเภทของอาหารปลาแบ่งตามรูปแบบและวิธีการเลี้ยงปลา โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท (วีระพงศ์, 2536)

1. อาหารธรรมชาติ

หมายถึงอาหารที่เกิดขึ้นได้เองในแหล่งน้ำธรรมชาติ หรือบ่อเลี้ยงปลา มีทั้งพืชและสัตว์ ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช ตะไคร่น้ำ จอก แหน ลูกน้ำ ไรแดง หนอนแดง ไข่เห็บ ลูกกุ้ง ลูกปู ปลา หอย ตัวอ่อนของแมลงที่อยู่ในน้ำ อาหารธรรมชาติมีความสำคัญต่อการเลี้ยงปลาแบบดั้งเดิม หรือแบบกึ่งพัฒนา เนื่องจาก การเลี้ยงปลารูปแบบดังกล่าวเป็นการเลี้ยงปลากินพืช หรือกินพืชกินเนื้อ ที่ราคาถูก เช่น ปลาไน ปลาตะเพียนขาว ปลาเงา ปลาช่อน ปลาเล้ง ปลายี่สกเทศ เป็นต้น ดังนั้นการเลี้ยงปลาเหล่านี้ให้เกิดกำไร จึงควรใช้อาหารธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ และพยายามลดการใช้อาหารประเภทอื่น ๆ ให้ลดน้อยลง การเพิ่มปริมาณอาหารธรรมชาติเหล่านี้ ควรเริ่มตั้งแต่การเตรียมบ่อ โดยการใส่ปุ๋ยมูลสัตว์ประมาณ 100-200 กิโลกรัม/ไร่ ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง พยายามควบคุมสีน้ำในบ่อให้เขียวอยู่ตลอดเวลา และในช่วงการเลี้ยงต้องระวังไม่ให้สีน้ำเขียวเข้มเกินไป ควรให้น้ำมีความโปร่งใสอยู่ที่ประมาณ 30 เซนติเมตร

2. อาหารสด

หมายถึง อาหารที่มีกลิ่นในการกระตุ้นการกินอาหารของปลาได้ดี ได้แก่ ไข่ไก่ กระดุกไข่ หอยกะพง หอยแมลงภู่ เนื้อกุ้ง หมัก ปลาเป็ดหรือ ปลาสด เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วปลาเป็ดและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตไข่ เป็นอาหารสดที่ได้รับความนิยมใช้กันมาก เนื่องจากหาได้ง่าย และมีราคาถูก แต่การให้อาหารสดเพียงอย่างเดียวเลี้ยงปลาเป็นเวลานาน ๆ จะทำให้ปลาเกิดการขาดวิตามิน เนื่องจากในอาหารสดส่วนใหญ่มีสารต่อต้านการทำงานของวิตามินหลายชนิด อาหารสดมีข้อดีตรงที่มีกลิ่นที่ช่วยกระตุ้นให้ปลากินอาหารได้มากขึ้น และช่วยให้สัตว์น้ำที่เลี้ยงมีสีส้มที่สดใสและเข้มขึ้น แต่คุณภาพของอาหารสดไม่แน่นอนมักมีกลิ่นเหม็น ไม่สามารถรักษาคูณภาพของอาหารให้คงคุณค่าได้นาน ซึ่งแม้การใช้ตู้แช่แข็ง จะช่วยรักษาคูณภาพอาหารให้คงที่ แต่จำเป็นต้อง

ใช้ตู้แช่จำนวนมาก จึงทำให้ไม่คุ้มกับการลงทุน ดังนั้นการใช้อาหารสดเลี้ยงปลาจะต้องซื้อทุก ๆ วัน ซึ่งอาจเป็นปัญหาสำหรับฟาร์มที่อยู่ไกลจากแหล่งอาหารสด นอกจากนี้อาหารสดยังมีแนวโน้มทำให้คุณภาพน้ำในบ่อเน่าเสียได้ง่าย โดยเฉพาะในกรณีที่ให้อาหารมากเกินไป

3. อาหารสำเร็จรูป

อาหารสำเร็จรูปหมายถึง อาหารที่ผลิตออกมาให้มีธาตุอาหารครบถ้วนตามความต้องการของสัตว์น้ำแต่ละชนิด หรือขนาด การผลิตอาหารสำเร็จรูปจะกระทำโดยการคัดเลือกวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพ แล้วผ่านกรรมวิธีการผลิตและการบรรจุหีบห่อ อาหารสำเร็จรูปอาจแบ่งย่อยได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

3.1 อาหารเม็ด

จัดเป็นอาหารที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการเลี้ยงปลาหรือสัตว์น้ำแบบพัฒนา เพราะซื้อหาได้ง่าย มีความสะดวกในการใช้ การเก็บรักษา และการขนส่ง โดยสามารถเก็บที่อุณหภูมิห้องได้นานถึง 1 เดือน โดยคุณค่าทางอาหารไม่เปลี่ยนแปลง และยังสามารถผสมยารักษาโรคเข้าไปในอาหารได้อีกด้วย และประการสำคัญคือ อาหารเม็ดมีอัตราแลกเนื้อที่ต่ำ (1.5-2.0) และราคาที่ค่อนข้างคงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก จึงทำให้สามารถคำนวณประมาณการค่าใช้จ่ายได้ง่าย ลักษณะของอาหารเม็ดที่จำหน่ายมีลักษณะดังต่อไปนี้

3.1.1 อาหารเม็ดจมแห้ง เป็นอาหารที่ผลิตขึ้นมา มีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ และนิยมใช้ในการเลี้ยงกุ้ง ปลากินพืชทั่วไป และปลาแซลมอน

3.1.2 อาหารเม็ดจมกึ่งเปียกกึ่งแห้ง เป็นอาหารที่ผลิตขึ้นมา มีความชื้นอยู่ที่ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ นิยมใช้เลี้ยงปลา แซลมอน และปลาในเขตหนาว

3.1.3 อาหารเม็ดลอยน้ำ เป็นอาหารเม็ดที่ผลิตขึ้นมา เพื่อให้มีคุณสมบัติลอยน้ำได้ดี มีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ จึงนิยมเลี้ยงปลาดูสวยงาม หรือปลาที่กินอาหารผิวน้ำ อาหารเม็ดลอยน้ำ จำเป็นจะต้องมีส่วนของแป้งที่เหมาะสม เพราะแป้งเมื่อได้รับความร้อนขณะอัดเม็ดจนสุก จะทำให้ตัวอาหารเกิดความเบาและพอง ช่วยทำให้อาหารลอยน้ำได้

3.1.4 อาหารเม็ดเล็ก เป็นอาหารเม็ดที่มีขนาดเล็ก จมน้ำมีลักษณะเป็นเกล็ดหรือเม็ดขนาดเล็ก ได้จากการอัดเม็ดผ่านหน้าแว่นที่มีรูปร่างแตกต่างกัน แล้วร่อนผ่านตะแกรงออกมาได้ขนาดประมาณ 0.5-2.4 มิลลิเมตร

3.2 อาหารเกลือบเม็ดจิ๋ว

เป็นอาหารเม็ดที่ผลิตขึ้นมาเพื่ออนุบาลสัตว์น้ำที่มีขนาดเล็กมากโดยเฉพาะเช่น ลูกกุ้งวัยอ่อน อาหารประเภทนี้มีคุณค่าทางอาหารสูง และมีราคาที่ย่อมเยา เนื่องจากต้องใช้เทคโนโลยีการผลิตที่มีการเคลือบผิวอาหารเพื่อป้องกันไม่ให้อาหารละลายน้ำเร็วเกินไป ดังนั้นจึงนิยมใช้อนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนที่มีราคาแพงเท่านั้น

4. อาหารผสมสด

อาหารผสมสดหมายถึง อาหารที่ได้จากการนำอาหารสด โดยเฉพาะปลาเปิด มาผสมกับวัตถุดิบอาหารสัตว์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน แล้วทำการอัดเป็นเม็ด อาหารผสมสดจะมีลักษณะเป็นอาหารเม็ดจมน้ำเปียก เนื่องจากใช้ปลาเปิดที่มีความชื้นสูง มาเป็นส่วนผสมของอาหาร จึงทำให้มีความชื้นมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป การผลิตอาหารผสมสดจำเป็นต้องมีแหล่งของปลาเปิดและวัตถุดิบอาหารสัตว์ เมื่อผลิตแล้วต้องใช้ให้หมดโดยเร็ว เพราะไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน นอกจากนี้ อาหารผสมสดไม่สามารถผลิตไว้เป็นจำนวนมากได้เนื่องจากต้องใช้ตู้แช่แข็งเป็นจำนวนมาก การผลิตอาหารผสมสดจึงนิยมใช้ในปลาบางชนิดเช่น ปลานู๋ ปลาช่อน ปลาสวาย และปลาดุก โดยนิยมนำปลาเปิดมาผสมกับรำ ปลายข้าว หรือกากถั่วเหลือง และพรีมิกซ์ ในสัดส่วนต่างๆ กัน แล้วนำมาอัดเป็นเม็ดหรือเส้น หรือนำมาผสมกันแล้วปั้นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ก็ได้

กระบวนการทำอาหาร

กระบวนการทำอาหารประกอบด้วยกระบวนการย่อย 4 กระบวนการคือ การทำให้ขนาดวัตถุดิบอาหารเล็กลง การผสมวัตถุดิบอาหาร การอัดอาหารเป็นเม็ด และ การบรรจุและเก็บรักษา

การลดขนาดของวัตถุดิบอาหาร ในวัตถุดิบอาหารที่มีขนาดใหญ่จำเป็นต้องบดให้มีขนาดเล็กลงจนได้ขนาดที่พอเหมาะก่อนที่จะนำไปผสมอาหารตามต้องการ ขนาดของวัตถุดิบนั้นมีความสัมพันธ์ต่อคุณภาพของอาหารผสม การใช้วัตถุดิบอาหารที่มีขนาดเล็กทำให้การผสมของวัตถุดิบอาหารดีขึ้น เพราะทำให้วัตถุดิบอาหารแต่ละชนิดผสมคลุกเคล้าและกระจายเป็นเนื้อเดียวกันโดยทั่วไปก่อนการผสมวัตถุดิบควรมีขนาดไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร (Hastings and Higgs, 1980; Lovell, 1988) อาหารผสมที่มีวัตถุดิบอาหารขนาดเล็กจะช่วยให้สัตว์น้ำย่อยได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้วัตถุดิบอาหารจำพวกแป้งและกากอาหารเมื่อบดให้ละเอียดและใช้เป็นส่วนผสมของอาหาร เมื่อได้รับความชื้นและความร้อนจะเปลี่ยนแปลงสภาพและทำหน้าที่คล้ายสารเหนียวยึดวัตถุดิบอาหารชนิดต่างๆ เข้าไว้ด้วยกัน ทำให้อาหารมีความคงทนในน้ำสูง (Raven and Walker, 1980)

การผสมวัตถุดิบอาหาร จุดประสงค์เพื่อให้วัตถุดิบอาหารที่กำหนดเป็นส่วนประกอบของอาหารผสมคลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อนำอาหารที่ผ่านการผสมแล้วมาตรวจวัดหาส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหาร ส่วนผสมที่เกิดการผสมกันอย่างดีจะต้องมีวัตถุดิบอาหารครบถ้วนทั้งชนิดและปริมาณตรงตามที่ระบุไว้ในสูตรอาหาร

การผสมวัตถุดิบอาหารอาจแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ การผสมวิตามินและเกลือแร่ และการผสมวัตถุดิบอาหารอื่น การผสมวิตามินและเกลือแร่มักจะผสมเตรียมไว้ล่วงหน้า (premixing) ก่อนการผสมวัตถุดิบอาหารอื่น ๆ เนื่องจากวิตามินและเกลือแร่ที่จะใช้เป็นส่วนผสมมีปริมาณน้อย จึงนิยมผสมวิตามินหรือเกลือแร่ก่อนแล้วค่อยไปเจือจางกับวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ ตามต้องการต่อไป

การอัดอาหารเม็ดเป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพของอาหารจากสภาพละเอียดและอ่อน ให้เป็นเม็ดแข็งโดยอาศัยความร้อน ความดัน และความชื้น เพื่อให้วัตถุดิบอาหาร เกิดการ บีบตัว ขยายตัว และยึดติดซึ่งกันและกัน โดยทั่วไปการอัดเม็ดอาหารเริ่มต้นด้วยการเพิ่มความชื้นในรูปของไอน้ำ

ประมาณ 4-6 เปอร์เซ็นต์ ให้กับวัตถุดิบอาหารที่ผสมกันดีแล้ว ความชื้นจะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น และช่วยให้เนื้ออาหารเกิดการบีบและขยายตัว จากนั้นความร้อนจะทำให้เนื้ออาหารโดยเฉพาะแป้ง คีบในอาหารเปลี่ยนสภาพเป็นสารเหนียวและยึดวัตถุดิบอาหารชนิดอื่น ในขั้นนี้ส่วนผสมของแป้ง ที่มีความชื้นร้อยละ 10-12 จะมีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 15-16 ความร้อนที่ 80-90 องศาเซลเซียส ซึ่งหลังจากผ่านการอัดเม็ดแล้วความร้อนก็จะลดลงและความชื้นจะเหลือไม่ถึงร้อยละ 30 (Hastings and Higgs, 1980; NRC, 1983)

ขั้นตอนในการอัดเม็ดหากเป็นการเตรียมอาหารจำนวนน้อยหรือในฟาร์มเกษตรกรขนาดเล็ก เครื่องมือที่ใช้เป็นแบบง่าย ๆ เช่น เครื่องบดเนื้อ (MINCER) ซึ่งมีขั้นตอนอย่างง่ายโดยการเติมน้ำลงในส่วนผสมวัตถุดิบที่ผสมกันดีแล้วให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำส่วนผสมของอาหารผ่านเข้าเครื่องอัดเม็ด น้ำที่เติมลงไปในการอาหารจะเป็นส่วนที่ทำให้อาหารมีความชื้นเมื่อผ่านเข้าเครื่องอัดจะเกิดการเสียดสีและมีความร้อนเกิดขึ้น ทำให้อัตถุดิบประเภทแป้งเกิดการเปลี่ยนสภาพเป็นสารที่มีความเหนียวตัว และความดันที่เกิดขึ้นจะดันให้อาหารผ่านรูตะแกรงออกมาเป็นเส้น โดยเมื่อนำอาหารมาอัดผ่านเครื่องอีกครั้ง เม็ดอาหารจะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้แป้งในวัตถุดิบจะมีความเหนียวเพิ่มมากขึ้น อาหารจึงมีความเหนียวมากยิ่งขึ้นอีก จากนั้นจึงนำอาหารที่อัดได้แล้วไปตากให้แห้ง หรือ อบในเตาอบ

ปริมาณความร้อน ความชื้นและความดัน ที่ใช้ในการอัดอาหารขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร โดยอาหารเม็ดจมน้ำปริมาณความร้อนจะอยู่ที่ประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส และความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 16 ส่วนอาหารเม็ดลอยน้ำต้องการ ความร้อนและความดันสูงกว่าอาหารเม็ดจมน้ำเป็นอย่างมาก เพื่อให้อาหารที่ได้มีน้ำหนักเบาเมื่อเปรียบเทียบกับขนาด ความร้อนและความดันที่ใช้ในการผลิตอาหารเม็ดลอยน้ำมีค่าประมาณ 135-175 องศาเซลเซียส และ 440-520 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ขณะอัดเม็ดอาหารส่วนผสมอาหารจะมีความชื้นประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ (Hasting and Higgs, 1980; NRC, 1983)

เทคนิคในการผลิตอาหารเม็ดลอยน้ำ (บุญชัย, 2532)

1. วัตถุดิบที่ใช้ในสูตรอาหารต้องมีความละเอียด เพราะในการบดวัตถุดิบให้มีความละเอียดมาก จะช่วยให้วัตถุดิบมีการจับตัวเป็นก้อนดีขึ้น น้ำจะซึมเข้าไปได้น้อย นอกจากนี้ การผสมวัตถุดิบต่าง ๆ ได้ทั่วถึงมากขึ้น ทำให้ปลาได้รับคุณค่าทางอาหารเท่าเทียมกันทุก ๆ เม็ด

2. ความชื้นของอาหาร หลักจากผสมวัตถุดิบของอาหารให้เข้ากันดีแล้ว การเติมน้ำลงไป ในอาหารประมาณร้อยละ 30 ของน้ำหนักอาหารทั้งหมด จะช่วยให้แป้งที่อยู่ในอาหารเมื่อผ่านการอัดเม็ดจะเกิดการเสียตึ๋น ทำให้เกิดความร้อน และเปลี่ยนสภาพกลายเป็นสารเหนียว ช่วยจับยึดเม็ดอาหารให้มีความแน่นเหนียวมากขึ้น ซึ่งคุณสมบัติการเป็นสารเหนียวของแป้งแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ซึ่งการเกิดเจลาตินในเซชัน เกิดจากการที่โมเลกุลของแป้งส่วนที่เป็น อมัยโลส และอมัยโลเพคตินเรียงตัวกันอย่างหนาแน่น ที่เรียกว่า Crystallite ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่ละลายในน้ำเย็น และน้ำซึมผ่านได้ยาก เมื่อได้รับความร้อน จะมีผลทำให้การจับกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วน Crystallite คลายตัวลง เกิดเป็นปฏิกิริยารับน้ำ และเกิดการพองตัวของเม็ดแป้ง มีความหนืดและความใสขึ้น ขบวนการนี้เรียกว่า เจลาตินในเซชัน (Gelatinization) ซึ่งปฏิกิริยานี้ไม่สามารถผันกลับได้ (Leach, 1965)

ตารางที่ 1 อุณหภูมิเจลาตินในเซชันของแป้งต่าง ๆ กำหนดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบ Kofler

ชนิดแป้ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ^a
ข้าวโพด	62-67-72
ข้าวโพดข้าวเหนียว	63-68-72
ข้าวโพดอะมัยโลสสูง	67-68->100
ข้าวฟ่าง	68-73.5-78
ข้าวฟ่างข้าวเหนียว	67.5-70.5-74
มันสำปะหลัง	
พันธุ์ Brazilian	49-57-64.5
พันธุ์ Siamese	62-68-73
พันธุ์ Dominican	58.5-64.5-70
ข้าวบาร์เลย์	51.5-57-59.5
ข้าวไรน์	57-61-70
ข้าวเจ้า	68-74.5-78
ข้าวสาลี	58-61-64

หมายเหตุ ^a ตัวเลขแสดงอุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชันของแป้งชนิดต่าง ๆ โดยแสดงเป็นอุณหภูมิเริ่มต้น จุดกึ่งกลาง และอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลาตินในเซชัน

ที่มา: Schoch and Maywald (1967)

ค่าของอุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชันของแป้งดูได้จากกล้องจุลทรรศน์แบบ Kofler (Kofler hot stage microscope) ที่สามารถให้ความร้อนแก่ตัวอย่างน้ำแป้ง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในอัตรา 2 องศาเซลเซียสต่อนาที การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งจะเกิดขึ้น จุดเริ่มต้นที่เห็นคือ เม็ดแป้งประมาณร้อยละ 2 เกิดการพองตัว และเสียหาย จะถูกบันทึกเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดเจลาตินในเซชัน (initial of gelatinization) เมื่อเม็ดแป้งตัวอย่างมีการเสียหายประมาณร้อยละ 50 จะถูกเรียกว่าเป็นจุดกึ่งกลางของการเกิดเจลาตินในเซชัน (midpoint of gelatinization) และเมื่อเม็ดแป้งตัวอย่างมีการสูญเสียสภาพไปประมาณร้อยละ 90 เรียกว่าเป็นจุดสุดท้ายของการเกิดเจลาตินในเซชัน (final of gelatinization หรือ completion point) ดังนั้นการแสดงช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชัน

จะแสดงเป็นชุดตัวเลข แต่ถ้าระบุเป็นตัวเลขเดียวจะแสดงถึงอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลิตใน เซชัน หรือที่เรียกว่า Birefringence end point temperature (BEPT)

แต่ Shetty *et al.* (1972) ได้ศึกษาการหาเปอร์เซ็นต์เจลลิตในเซชันในแป้งสาลี โดยใช้วิธีการย่อยแป้งที่เกิดเจลลิตในเซชันแล้วไปเป็นกลูโคส ด้วยเอนไซม์กลูโคอามัยเลส (glucoamylase) และวิเคราะห์ปริมาณกลูโคสด้วย เอนไซม์กลูโคสออกซิเดส (glucoseoxidase) ต่อมา Goering และ คณะ (1974) เห็นด้วยกับวิธีการของ Shetty โดยทำการทดลองพบว่า ผลจากการวิเคราะห์สารละลายแป้ง ข้าวเจ้า ข้าวโพด และ มันฝรั่ง ที่เครื่องหมายกากบาทหายไป 100 เปอร์เซ็นต์ จะวัดการเกิดเจลลิตในเซชันได้เพียง 77, 66 และ 55 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับแป้งชนิดอื่น ๆ ที่อุณหภูมิที่สูญเสียเครื่องหมายกากบาท จะเป็นอุณหภูมิที่วัดการเกิดเจลลิตในเซชันได้เพียง 55-78 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เอนไซม์ ด้วยเหตุนี้ จึงอธิบายความหมายของการเกิดเจลลิตในเซชันว่าเป็นอุณหภูมิที่ทำให้เม็ดแป้งพองตัว จนเอนไซม์กลูโคอามัยเลสย่อยได้ ไม่ใช่อุณหภูมิที่สูญเสียเครื่องหมายกากบาท

ใยอาหาร (Dietary fiber)

ใยอาหารเป็นส่วนประกอบของพืชที่ไม่สามารถย่อยได้ ด้วยเอนไซม์ในร่างกายมนุษย์ (Heaton, 1983; Jenkins, 1988) แต่อาจจะถูกย่อยสลายได้บางส่วนโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ (ประภาศรี, 2532) ใยอาหารที่พบทั่วไปเป็นส่วนที่เป็นผนังเซลล์ และไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ (Southgate, 1976)

ส่วนประกอบของใยอาหาร

ใยอาหารแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ (ประภาศรี, 2532; Bingham *et al.*, 1979; Claus, 1984; Robert และ Nip, 1984; Schneeman, 1980 และ Southgate, 1976)

1. ส่วนโครงสร้างหลักที่เป็นโพลีแซคคาไรด์ (Structural polysaccharide) ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและเพคติน

1.1. เซลลูโลส เป็นส่วนประกอบหลักที่มีอยู่ผนังเซลล์พืช ประมาณ 10-25 เปอร์เซ็นต์ ของส่วนประกอบทั้งหมด เป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส (Glucose) จับกันด้วย β -1,4 glucosidic

bond มีลักษณะโครงสร้างเป็นโซ่ตรง ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ แอลฟา-อัมัยเลส (α - amylase) ไม่ละลายในน้ำและค้างแข็งขึ้น แต่ละลายในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ซึ่งแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่สามารถย่อยได้เล็กน้อย

1.2. เซมิเซลลูโลส เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช และเป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลไซโลส (xylose) จับกันด้วย 1,4 pentosidic bond มีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขา ประกอบด้วยน้ำตาลเพนโตส (pentose) น้ำตาลเฮกโตส (hexose) และมีกรดกลูคูโรนิก (glucuronic acid) ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้มีคุณสมบัติแตกต่างไปจากเซลลูโลส คุณสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายในด่างเจือจาง ถูกย่อยโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ได้มากกว่าเซลลูโลส

1.3. เพคติน เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช และ middle lamella มีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขา ประกอบด้วยกรดในน้ำตาลหลายชนิด มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำและอุ้มน้ำได้ โดยจับกันในโมเลกุล ทำให้เกิดลักษณะเป็นเจล (gel) เพคตินสามารถย่อยสลายได้หมดในร่างกายมนุษย์ โดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่

2. ส่วนโครงสร้างหลักที่ไม่เป็นโพลิแซคคาไรด์ (Structural nonpolysaccharide) ประกอบด้วย ลิกนิน

ลิกนินเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชประกอบด้วยโพลิเมอร์ไฮดรอกซีฟีนิลโพรเพน (hydroxyphenylpropane) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำและไม่ถูกย่อยโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่

3. ส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างหลักที่เป็นโพลิแซคคาไรด์ (Nonstructural polysaccharide) ประกอบด้วย กัมส์ (gums) และมิวซิเลจ (mucilage) พบมากในสาหร่ายทะเล (algae)

กัมส์ (gums) เป็นส่วนที่พืชหลั่งออกมาเมื่อมีบาดแผล โดย secretory cell ของพืช ลักษณะเป็นยางเหนียวข้น กัมส์หลายชนิดใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ช่วยกระจายไขมัน ทำให้อาหารข้นและให้ความอยู่ตัว นอกจากนี้ กัมส์บางชนิดยังใช้เป็นยาระบายอีกด้วย กัมส์ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายคือ กัวกัม (guar gum) หรือกาแลคโตแมนแนน (galactomannan) ได้จากอินเดียนคลัสเตอร์บี (Indian cluster bean) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cyamopsis tetragonolobus* มีใช้ในยา บำรุง

และอุตสาหกรรมอาหาร เช่นเติมลงในซอส น้ำสลัด ไอศกรีม เซอร์เบท อาหารแช่แข็งและอาหาร
สุนัข (Jenkins และคณะ, 1979) มิวซิเลจ (mucilages) เป็นส่วนประกอบของเมล็ดพืช ส่วนของเอน
โดสเปิร์ม (endosperm)

ส่วนประกอบทั้งสามส่วนนี้ พบได้ในธัญพืช ผักและผลไม้ ซึ่งมีส่วนประกอบเป็น
คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เซลลูโลส 62-76 เปอร์เซ็นต์ เซลลูโลส 17-32 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน 2.0-17.4
เปอร์เซ็นต์

แหล่งของใยอาหาร

ใยอาหารพบมากจากธัญพืชและผลิตภัณฑ์ผัก ผลไม้และถั่วเมล็ดแห้งต่าง ๆ (Lanza และ
Butrum, 1986) (ตารางที่ 2) โดยปริมาณของใยอาหารขึ้นอยู่กับขนาดหรือชนิดของพืช เช่น พืช
ขนาดเล็กจะมีใยอาหารปริมาณต่ำ เนื่องจากมีเฮมิเซลลูโลสและลิกนินในปริมาณน้อย แต่เมื่อพืชมี
ขนาดใหญ่ขึ้นจะมีเฮมิเซลลูโลสและลิกนินมากขึ้น ทำให้พืชมีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น (Roehrig,
1984)

ตารางที่ 2 ปริมาณใยอาหารที่พบในวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ

วัตถุดิบ	ปริมาณใยอาหาร (%)
ปลาสด	-
ไส้ไก่	-
ปลาหมึกป่น	-
ปลายข้าว	0.5
เลือดป่น	0.7
ข้าวโพด	0.8
ขนไก่ป่น	1.0
ข้าวฟ่าง	1.9
เศษไก่ป่น	2.3
ปลาป่น	2.4
ข้าวสาลี	2.5
เนื้อแกะและกระดูกป่น	2.6
มันสำปะหลัง	3.0
โปรตีนข้าวโพดเข้มข้น	3.7
กากเมล็ดงา	6.4
กากถั่วเหลือง	6.5
กากถั่วลิสง	7.0
ใบกระถินป่น	9.4
รำข้าวสาลี	9.9
บุงป่น	10.6
กากเมล็ดฝ้าย	11.3
กากมะพร้าวอัด	12.0
รำละเอียด	12.3
ก้างป่น	14.2

ที่มา: วิมล (2537)

เครือวัลย์ (2535) วิเคราะห์ปริมาณแคลบ รำและน้ำมันรำข้าว ที่เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวไทยพันธุ์ต่างๆ 24 สายพันธุ์ เป็นข้าวเจ้า 16 พันธุ์ ข้าวเหนียว 8 พันธุ์ ผลการวิจัยสรุปว่า ข้าวทั้ง 24 สายพันธุ์ มีปริมาณแคลบ 7.6 – 24.0 เปอร์เซ็นต์ รำ 8.2 – 11.7 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันรำ 17.8 – 24.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 20.94, 10.18 เปอร์เซ็นต์ และ 20.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างข้าวเจ้าและข้าวเหนียว นอกจากนั้นปริมาณใยอาหาร ยังแตกต่างกันตามสายพันธุ์ของพืช อายุและส่วนของพืช เช่น ใบ ราก ลำต้น เป็นต้น (Southgate, 1978)

Slavin (1987) รายงานเกี่ยวกับชนิดของใยอาหารที่มีมากในอาหารประเภทต่างๆ พบว่า เซลลูโลส มีมากในแป้งข้าวสาลีที่ไม่ขัดสี รำ พืชตระกูลกะหล่ำ ถั่วต่างๆ แอปเปิลและผักหัว เฮมิเซลลูโลส มีมากในรำ ธัญพืชทั้งเมล็ด ถั่วกัม มีมากในข้าวโอ๊ต ถั่วเมล็ดแห้ง เพคติน มีมากในแอปเปิล ผลไม้ตระกูลส้ม ลิควิน มีมากในพืชที่แก่จัด ข้าวสาลีและสตอเบอรี่

ใยอาหารในอาหารสัตว์น้ำ

สัตว์น้ำพวกปลาส่วนใหญ่ใช้ประโยชน์จากใยอาหารได้ต่ำมากหรือไม่ได้เลย เนื่องจากปลาส่วนใหญ่ไม่มีเอนไซม์ช่วยในการย่อยเซลลูโลส แต่ก็พบว่า ปลาบางชนิดโดยเฉพาะปลากินพืช จะมีจุลินทรีย์ในท้องทางเดินอาหารทำหน้าที่ผลิตเอนไซม์ย่อยเซลลูโลสหรือเฮมิเซลลูโลส จึงทำให้พวกปลากินพืช เช่นปลานิล (*Oreochromis* sp.) สามารถย่อยใยอาหารได้ (Halver, 1989) ส่วนในกลุ่มปลาเซลมอนและปลากินเนื้อ ไม่สามารถย่อยใยอาหารได้ แต่ในปลากลุ่มแซนแนลแคทฟิช (Channel catfish) สามารถย่อยใยอาหารได้บางส่วน (Stickney และ Shumway, 1974)

Bromley และ Adkins (1984) รายงานว่าในปลาเรนโบว์เทราท์ (rainbow trout) ที่ได้รับเซลลูโลสไม่เกิน 30.0 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างกัน เพราะปลาสามารถปรับตัวโดยกินอาหารมากขึ้น ส่วนปลาที่ได้รับเซลลูโลสในปริมาณ 40.0 เปอร์เซ็นต์ และ 50.0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้ว่าปลาจะพยายามกินอาหารมากขึ้นก็ตาม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ Davies (1985) รายงานว่า ในปลาเรนโบว์เทราท์ (rainbow trout) ที่ได้รับอาหารทดสอบที่มีเซลลูโลส ในอัตรา 5.0, 10.0, 15.0, และ 20.0 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม แต่แตกต่างจากการทดลองของ Hilton *et al.* (1983) ในปลาเรนโบว์เทราท์ (*Saimo*

gairdneri) วัยอ่อน อายุประมาณ 2 สัปดาห์ ปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีระดับเซลลูโลส ตั้งแต่ 10.0 – 20.0 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ปลาที่ทดลองมีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงไป โดยกินอาหารมากขึ้น มีผลต่างระยะเวลาการขับถ่าย เนื่องจากปริมาณของกระเพาะมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ไม่มีผลต่อปริมาณไกลโคเจนในตับ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักตับต่อน้ำหนักตัว ระดับฮีโมโกลบินในเลือด จำนวนเม็ดเลือดขาว ระดับกลูโคสในพลาสมาและระดับโปรตีนในพลาสมา หรือไต ตับ และระดับของทองแดง เหล็กและสังกะสี ในซากปลาหลังการทดลอง และสรุปในรายงานว่าระดับที่เหมาะสมของใยอาหารในอาหารปลาเรนโบว์เทราท์ (rainbow trout) ควรมีปริมาณไม่มากกว่า 10.0 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ Lee *et al.* (2003) ทดลองในปลา Flounder โดยให้อาหารที่มีแหล่งคาร์โบไฮเดรตประเภทต่าง ๆ ได้แก่ เซลลูโลส, กลูโคส, และ มอลโทส ที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารผสมเซลลูโลส 15 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ในด้านน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และ Energy retention efficiency (ERE) ต่ำกว่าทุกชุดการทดลอง ($p > 0.05$) ถึงจะมีปริมาณการกินอาหารมากกว่า ($p < 0.05$) ก็ตาม แต่ในปลากินพืช Anderson *et al.* (1984) รายงานว่า ปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองที่มีเซลลูโลสในอัตรา 10.0 เปอร์เซ็นต์ ยังคงมีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารเท่ากับกลุ่มควบคุม แต่ถ้าได้รับอาหารที่มีเซลลูโลสในอัตรา 25.0 และ 40.0 เปอร์เซ็นต์ จะมีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง

Leavy and Lovell (1975) รายงานว่า ปลาแซลมอนแคทฟิช (Channel catfish) มีอัตราการเจริญเติบโตลดลงเมื่อได้รับอาหารที่มีระดับเซลลูโลส 8.0 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่า NRC (1977) รายงานว่า อาหารทดลองที่มีระดับใยอาหาร 8.0 เปอร์เซ็นต์ หรือน้อยกว่า ทำให้ปลา Channel catfish มีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น แต่การเพิ่มระดับของใยอาหารจะไม่มีผลต่อสรีระของปลา

วีระพงศ์ (2536) รายงานว่าเยื่อใยเป็นคาร์โบไฮเดรตอีกรูปหนึ่ง ซึ่งเกี่ยวกับการดูดซึมและการย่อยอาหาร เยื่อใยในอาหารที่มีระดับไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต

NRC (1977) เยื่อใยที่มีในอาหารนอกจากจะช่วยให้อาหารเกาะกันแล้วยังช่วยให้อาหารเคลื่อนที่ได้ช้าลงทำให้ปลาย่อยและดูดซึมสารอาหารได้มากขึ้น แต่ถ้ามีเยื่อใยมากเกินไปจะทำให้สารอาหารถูกเจือจางลงปลาจะได้รับสารอาหารน้อยลง หรือได้รับไม่พอความต้องการของร่างกาย

วีระพงศ์ (2536) กล่าวว่า กวักัมเป็นกัมส์ที่ได้จากเมล็ดพืชที่เป็นสารประกอบประเภท galactomannans ที่ประกอบด้วย β -mannose ต่อกับ α -galactose ในอัตราส่วน 2:1 เป็นที่นิยมมากในการเป็นตัวประสานอาหารสัตว์น้ำ เนื่องจากมีคุณสมบัติ สามารถดูดน้ำได้อย่างรวดเร็วในน้ำเย็นได้สารละลายที่หนืด ดังนั้นเมื่อได้รับความร้อนขณะอัดเม็ดก็ยังทำให้อาหารเกาะตัวดียิ่งขึ้น อัลจิเนท (alginate) เป็นกัมส์ที่ได้จากการสกัดสาหร่ายสีน้ำตาล มีลักษณะเป็นกรดกลูคูโรแนน (glucuronan) เพราะประกอบด้วย β -D-mannuronic acid กับ α -L-guluronic acid ในอัตราส่วนประมาณ 3:2 ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำทั่วไป ส่วน คาร์ราจีแนน (carrageenan) เป็นสารสกัดจากสาหร่ายสีแดง มีลักษณะเป็นสารกาแลกแทนที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ (sulfated galactan) นิยมใช้ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำวัยอ่อน

Davies (1985) กล่าวว่าสัตว์น้ำไม่ควรมิกัมส์ผสมในสูตรอาหารเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากสัตว์น้ำย่อยกัมส์ได้น้อยมาก และยังทำให้สัตว์น้ำได้รับธาตุอาหารบางชนิดอื่นๆ ได้น้อยลง อย่างไรก็ตาม กัมส์ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตอาหารกุ้ง เพื่อให้อาหารกุ้งมีความเหนียวและคงตัวในน้ำได้นาน ไม่ให้ธาตุอาหารสลายออกไป (nutrient leaching) ได้ง่าย ซึ่งจะทำให้กุ้งได้รับธาตุอาหารลดลง การเจริญเติบโตลดลง

กากมันสำปะหลัง (Cassava pulp)

กากมันสำปะหลัง เป็นวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งที่มากที่สุดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังของไทย ซึ่งกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังของไทยแบ่งเป็น 2 วิธี คือ กรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลังเกรดหนึ่ง (สลิคแห้ง) (first grade tapioca starch) และ กรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลังเกรดสอง (อ้งไฟ) (second grade tapioca starch)

กรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิดสลิคแห้ง (first grade tapioca starch) เป็นกรรมวิธีที่โรงงานแป้งมันสำปะหลังใช้กันทั่วไปโดยพัฒนาจากกรรมวิธีแบบอ้งไฟ เริ่มจากเมื่อหัวมันถูกส่งเข้าสู่ตะแกรงร่อนดินทราย (sand removal drum) เพื่อกำจัดฝุ่นทรายที่ติดมากับหัวมัน และทำให้ผิวนอกของมันหลุดออก หัวมันจะถูกส่งไปยังเครื่องล้างหัวมัน (root washer) ทำความสะอาดโดยใช้ น้ำฉีด หัวมันที่ถูกล้างแล้วจะผ่านเข้าเครื่องสับเป็นชิ้นเล็ก ๆ ประมาณ 1-2 นิ้ว หัวมันชิ้นเล็ก ๆ จะถูกส่งต่อไปยังเครื่องขูดหัวมัน (root rasper) ให้เป็นหัวมันชิ้นละเอียด

มันสำปะหลังชั้นละเอียด จะถูกแยกโดยเครื่องแยกหยาบ (coarse extractor) แยกเอาส่วนที่เป็นกากมันสำปะหลังออกจากน้ำแป้ง โดยการทำงานของเครื่องจะฉีดน้ำเข้าไปในส่วนที่มีการหมุนอยู่ตลอดเวลาเพื่ออาศัยแรงเหวี่ยงแยกส่วนที่เป็นน้ำแป้ง และกากมัน ส่วนที่เป็นน้ำแป้ง จะถูกส่งไปยังเครื่องแยกละเอียด (fine extractor) และ เครื่องแยก (separators) เพื่อแยกกากมันออกให้หมด เพื่อให้น้ำแป้งที่ได้เข้มข้นขึ้น น้ำแป้งที่ผ่านการแยกแล้วจะถูกส่งไปเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำออกจากแป้ง จากนั้นพ่นเข้าสู่ท่อไอร้อนซึ่งมีลมร้อนประมาณ 200 องศาเซลเซียส เป่าด้วยความแรงของลมจะส่งแป้งขึ้นตามท่อและตกลงสู่ถังเก็บ เพื่อลดอุณหภูมิ ร้อนแยกกาก และรอบบรรจุต่อไป ส่วนของกากมันที่ได้แยกจากน้ำแป้งจะถูกนำมาอัด และตากให้แห้ง เพื่อรอจำหน่ายเป็นอาหารสัตว์ต่อไป

กรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิดอึ่งไฟ (second grade tapioca starch) กรรมวิธีที่เริ่มต้นคล้ายกับกรรมวิธีกระบวนการผลิตแบบสัดแห้ง แตต่างกันตรงที่น้ำแป้งที่แยกจากกากมันแล้วจะนำมาตกตะกอนในบ่อน้ำแป้ง ประมาณ 24 ชั่วโมง แล้วปล่อยน้ำส่วนใสทิ้ง จากนั้นจะทำการล้างผิวแป้ง โดยใส่น้ำเล็กน้อย แล้วใช้ไม้ตีแป้งให้กลายเป็นน้ำแป้งอีกครั้ง แล้วทิ้งให้ตกตะกอนอีกครั้ง ทำหลาย ๆ ครั้งจนหน้าแป้งแข็งดีจึงนำมาเกลี่ยบนพื้นให้ความร้อนอยู่ด้านล่าง แป้งที่ถูกลีให้ความร้อนจนแห้งจะยังมีขนาดใหญ่ จึงต้องทำการบดให้ละเอียดก่อนบรรจุต่อไป

องค์ประกอบของกากมันสำปะหลังที่ได้จากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีประมาณ 60 กิโลกรัมต่อตันหัวมันสำปะหลังสด องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง (น้ำหนักแห้ง) แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง

องค์ประกอบ	Sriroth ¹		Grace ²
	ร้อยละของน้ำหนักเปียก	ร้อยละของน้ำหนักแห้ง	ร้อยละของน้ำหนักแห้ง
แป้ง	17.8	68.89	56
ความชื้น	72	-	-
เถ้า	0.44	1.7	2.7
โปรตีน	0.4	1.55	5.3
เส้นใย	7.17	27.75	35.9
ไขมัน	0.03	0.12	0.1

ที่มา: ¹Sriroth *et al.* (2000), ² Grace (1977)

Riverra *et al.* (1993) ศึกษาองค์ประกอบของเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) ในหัวมันสำปะหลังโดยใช้วิธีการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric method) เมื่อผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ (Pancreatic α - amylase) ตามด้วยวิธีการใช้สารซักฟอก (Detergent method) พบว่าเส้นใยอาหารในหัวมันสำปะหลังประกอบด้วย เส้นใยที่ไม่ละลายในสารซักฟอกที่เป็นกลาง (Neutral Detergent Fiber, NDF) ร้อยละ 4.65 เส้นใยที่ไม่ละลายในสารซักฟอกที่เป็นกรด (Acid Detergent Fiber, ADF) ร้อยละ 2.79 ดังนั้นในมันสำปะหลังจึงประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 1.96 เซลลูโลสร้อยละ 1.76 ลิกนินร้อยละ 0.56 แป้งร้อยละ 83.02 และกากมันสำปะหลังร้อยละ 0.56 โดยน้ำหนักแห้ง

การใช้กากมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์

กากมันสำปะหลังเป็นส่วนเหลือจากอุตสาหกรรมแปรงมันสำปะหลังยังมีปริมาณแป้งอยู่พอสมควร แต่มีโปรตีนอยู่ต่ำมาก จึงมีราคาถูก มีการนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์บก โดยเฉพาะสุกรสามารถใช้กากมันสำปะหลังเป็นอาหารได้ในสุกรอายุน้อย กากมันสำปะหลังที่ผสมปลายข้าวอยู่ด้วยจะให้ผลดีกว่าอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังผสมครั้งต่อครั้งกับปลายข้าวหรือกากมันสำปะหลังอย่างเดียว แต่ถ้าสุกรมีอายุ 7-8 เดือน การใช้กากมันสำปะหลังผสมกับปลายข้าวในอัตราส่วน 1:1 จะช่วยเร่งการเจริญเติบโต เพิ่มน้ำหนัก มากกว่าสุกรที่กินปลายข้าว หรือ กากมันสำปะหลัง อย่างเดียว (ประยงค์, 2493 อ้างโดย ทรงศักดิ์, 2543)

ในการศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังเป็นอาหารไก่ โดยใช้กากมันสำปะหลัง ผสมในอาหาร 10- 20 % จะให้ผลดี แต่ถ้าเพิ่มส่วนผสมถึง 40 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้น้ำหนักไก่ลดลง McMillan and Dudley (1941) พบว่ากากมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ที่มีคาร์โบไฮเดรตสูงชนิดหนึ่ง สามารถนำมาใช้เป็นอาหารไก่และใช้เลี้ยงไก่พ่อพันธุ์ และไก่ไข่ในระดับไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ แต่จะให้ผลลดลงเมื่อให้สูงถึง 40-50 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ Ewing (1951) และ Heuser (1955) กล่าวไว้ว่ากากมันสำปะหลังเป็นอาหารชนิดหนึ่งที่สามารถใช้อาหารพวกคาร์โบไฮเดรตด้วยกันได้ผลดีในระดับ 20-30 เปอร์เซ็นต์ ของสูตรอาหารสัตว์

กากมะพร้าว (Coconut meal หรือ Copra Meal)

ความต้องการใช้มะพร้าวในการบริโภคของคนไทย ทั้งในเรื่องอาหารคาวและหวาน การผลิตน้ำมันมะพร้าว ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม ดังกล่าวจะได้กากมะพร้าว (Coconut Meal, Copra Meal หรือ Poonac Meal) และจากการที่ผ่านกรรมวิธีที่แตกต่างกัน ดังนั้นคุณค่าทางโภชนาการของกากมะพร้าวที่ได้จึงแตกต่างกัน และจากความผันแปรของอุณหภูมิระหว่างการแปรรูป จะมีอิทธิพลไปถึงการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน โปรตีนที่ย่อยได้ของกากมะพร้าวที่ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นระหว่าง 40- 150 องศาเซลเซียส จะค่อยๆลดลงเป็นลำดับ โดยเฉพาะในโตรเจนที่ย่อยได้ และโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้สุทธิ คุณภาพโปรตีนในกากมะพร้าวค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับกากถั่วเหลืองหรือกากเมล็ดฝ้าย และขาดกรดอะมิโนที่สำคัญเช่น ไลซีน เมทไธโอนีน ทรีปโตเฟน และทรีโอนีน กากมะพร้าวที่ผลิตในประเทศไทยส่วนใหญ่ เป็นชนิดอัดน้ำมันโดยเครื่องอัดเกลียว มีโปรตีนประมาณ 16 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ และไขมันตกค้างอยู่ระหว่าง 9 ถึง 16 เปอร์เซ็นต์ ผันแปรไปตามโรงงานที่ผลิต (สาริข, 2542) จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่ากากมะพร้าวมีโปรตีนเฉลี่ย 21 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 12 เปอร์เซ็นต์ และมีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 1.7-2.1 Mcal ME/กก. สำหรับสัตว์ปีก และ 2.7-3.0 Mcal ME/กก. สำหรับสุกร โปรตีนของกากมะพร้าวมีคุณภาพในแง่ของกรดอะมิโนที่จำเป็นไม่ค่อยดี คือขาดไลซีนแต่มีอาร์จินีนสูง อัตราการย่อยและการใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนของกากมะพร้าวค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับแหล่งโปรตีนอื่น อีกทั้งความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการแปรรูปและอัดน้ำมันทำให้ปริมาณการใช้ประโยชน์ได้ของไลซีนยิ่งลดต่ำลง นอกจากนี้ระดับอาร์จินีนที่สูงเกินไปจะขัดขวางการใช้ประโยชน์ได้ (antagonize) ของไลซีน ทำให้สัตว์ปีกและสุกรชะงักการเจริญเติบโตเนื่องจากขาดไลซีนมากยิ่งขึ้น ดังนั้นอาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องที่มีกากมะพร้าวประกอบอยู่ต้องเสริมไลซีนให้เพียงพอ (ตารางที่ 5)

น้ำมันมะพร้าวประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวสายสั้นอยู่สูงคือมีกรด lauric (12 : 0) ประมาณ 44.1-51.0 เปอร์เซ็นต์ และ myristic (14 : 0) ประมาณ 13.1-18.5 เปอร์เซ็นต์ (Child, 1974) กรดไขมันเหล่านี้ถูกย่อยและดูดซึมโดยสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องได้ดี ดังนั้นปริมาณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของกากมะพร้าวจึง ผันแปร ไปกับปริมาณไขมันที่เหลืออยู่ในกากด้วยส่วนหนึ่ง อย่างไรก็ตามกากมะพร้าวอัดน้ำมันจะเกิดการหืนหากเก็บไว้นานเกิน 6-8 สัปดาห์ จึงทำให้รสชาติความน่ากินตลอดจนคุณค่าทางโภชนาการลดลง

ปริมาณเยื่อใยในกากมะพร้าวมีความผันแปรสูงไปตามน้ำมันที่ตกค้าง และเป็นอุปสรรคที่สำคัญในการใช้กากมะพร้าวในอาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง เยื่อใยส่วนใหญ่เป็น Neutral Detergent fiber (NDF) (53 เปอร์เซ็นต์) และมี Acid detergent fiber (ADF) ประมาณ 27 เปอร์เซ็นต์ ในเยื่อใยมี non-starchpolysaccharides (NSP) ที่ย่อยยากเช่น mannan (61 เปอร์เซ็นต์ ของ NSP) galactomannan arabinoxylogalactan และอื่น ๆ อยู่สูง ส่วนเซลลูโลสมีอยู่ประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ จากการที่มี NSP ในเยื่อใยอยู่สูง คุณค่าทางโภชนาการของกากมะพร้าวมีศักยภาพที่จะเพิ่มขึ้นได้โดยการย่อยด้วยเอนไซม์ก่อนใช้ในอาหาร เช่นการย่อยด้วยเอนไซม์ mannanase จาก *Straptococcus* spp. ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนใช้ในอาหารไก่เนื้อที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์สามารถลดระดับของเยื่อใยลงจาก 12.7 เป็น 6 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มการย่อยโปรตีน ไขมัน ตลอดจนทำให้น้ำหนักไก่เนื้อและประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น

ในส่วนของแร่ธาตุนั้นกากมะพร้าวมีแคลเซียมค่อนข้างต่ำ แต่มีฟอสฟอรัสสูงใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง มีวิตามินเกือบทุกชนิดต่ำ นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งอาหารที่เชื้อราขึ้นได้ดีมาก จึงมีโอกาสที่จะเกิดอะฟลาท็อกซินในกากมะพร้าวที่มีความชื้นสูงได้ง่าย

ตารางที่ 4 คุณค่าทางโภชนาของกากมะพร้าว (ร้อยละ)

	ส่วนประกอบ (%)
ความชื้น	10
โปรตีน	21
ไขมัน	6
เยื่อใย	12
เถ้า	7
แคลเซียม	0.20
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้	0.20

ที่มา: สาโรช (2542)

ตารางที่ 5 ปริมาณกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ในกากมะพร้าว

กรดอะมิโน	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์ของโปรตีน
วัตถุแห้ง	89.9	100
อลานีน	0.81	3.87
วาลีน	0.89	4.25
ไกลซีน	0.089	4.25
ไอโซลิวซีน	0.6	2.87
ลูซีน	1.21	5.78
โพลีน	0.71	3.39
ทรีโอนีน	0.66	3.15
เซรีน	0.96	4.59
เมทไธโอนีน	0.37	1.77
ไฮดรอกซีโพรลีน	0.05	0.23
ฟีนิลอะลานีน	0.81	3.87
แอสปาร์ติกแอซิก	1.62	7.75
กลูตามิกแอซิก	3.64	14.41
ไทโรซีน	0.46	2.2
ไลซีน	0.48	2.29
ฮิสทีดีน	0.41	1.96
อาร์จินีน	1.96	9.37
ซีสทีน	0.24	1.14

ที่มา : สุริยา (2533)

การใช้กากมะพร้าวในอาหารสัตว์

สาโรช (2542) รายงานว่า กากมะพร้าวสามารถทดแทนแหล่งโปรตีนอื่นได้ผลดีในอาหารสุกรขุนที่ระดับ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารไก่รุ่น-ไข่ได้ 55 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในอาหารไก่และนกกระทาไข่สามารถใช้ได้ 40 เปอร์เซ็นต์และทดแทนได้เต็มที่ในอาหารชั้นสำหรับโคนม แต่พบว่าเนยที่ได้รับจากนมโคที่เลี้ยงด้วยกากมะพร้าวจะค่อนข้างแข็ง ตามสภาพความอืดตัวของไขมันมะพร้าว และยังรายงานว่าหากระดับของกากมะพร้าวสูงเกินกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ของอาหารสุกรทำให้สุกรท้องผูก กินอาหารน้อยลง และอัตราการเจริญเติบโตลดลง

สุริยา (2533) ได้ทำการศึกษาการใช้กากมะพร้าวและใบกระถินเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารของสุกรขุนพบว่ากากมะพร้าว 10-15 เปอร์เซ็นต์ สามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสุกรรุ่น-ขุนได้เป็นอย่างดี ในทางตรงกันข้ามการใช้ใบกระถิน 10 เปอร์เซ็นต์ เพียงอย่างเดียวในอาหารนั้น จะทำให้สมรรถนะการผลิตของสุกรรุ่น-ขุนลดลง การใช้กากมะพร้าว 10-15 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับใบกระถิน 10 เปอร์เซ็นต์ ในอาหาร จะทำให้สมรรถนะการผลิตของสุกรรุ่น-ขุนดีกว่าการใช้ใบกระถิน 10 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีกากมะพร้าว

อุทัย (2529) กล่าวว่ากากมะพร้าวอัดน้ำมันคุณภาพดีสามารถใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารสุกรได้สูงสุดประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่เกิดผลเสียต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร ทั้งนี้ต้องมีการเสริมด้วยวัตถุดิบอาหารที่มีไลซีน ไขมันที่เหมาะสม เช่นเดียวกับการทดลองของ Thome *et al.* (1992) พบว่าการกินอาหารของสุกรที่ผสมกากมะพร้าวและปรับระดับสมดุลของกรดอะมิโนที่จำเป็นในอาหารโดยผสมกากมะพร้าวที่ระดับ 10 -30 เปอร์เซ็นต์ สุกรจะมีการกินอาหารลดน้อยลงตามระดับของกากมะพร้าวในอาหาร แต่ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพซาก อัตราการเปลี่ยนอาหาร แต่ระดับของกรดไขมัน lauric (C12:0) และ myristic (C14:0) ที่ไขมันสันหลังมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับของกากมะพร้าวที่เพิ่มขึ้น ในสัตว์ปีกมีความทนทนต่อกากมะพร้าวในสูตรอาหารได้น้อยกว่าสุกร กากมะพร้าวคุณภาพดี สามารถใช้เป็นส่วนประกอบสูตรอาหารได้ไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากกากมะพร้าวอัดน้ำมันมีปริมาณไขมันหลงเหลืออยู่ในระดับสูง (เฉลี่ย 6 เปอร์เซ็นต์) จึงทำให้หั่นง่าย และมีผลทำให้การกินอาหารของสุกรและสัตว์ปีกลดลง สัตว์เกิดอาการท้องเสียในกากมะพร้าวมีเชื้อราสูง ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดในการใช้กากมะพร้าว เพราะจะทำให้อาหารมีลักษณะฟาม ทำให้สัตว์ปีกหรือสุกรกินอาหารได้น้อย

การเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง และกามะพร้าวที่มีเชื้อราจะทำให้สุกรไ้ และสัตว์ปีกมีการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตลดลง

ปลาดุกลูกผสม

ในปัจจุบัน การเลี้ยงปลาดุกของไทย เกือบทั้งหมดจะเป็นปลาดุกลูกผสม โดยใช้แม่พันธุ์ ปลาดุกอุย (*Clarias macrocephalus*) มาผสมกับพ่อพันธุ์ปลาดุกแอฟริกัน (*Clarias gariepinus*) เพื่อผลิตเป็นปลาดุกลูกผสม ปลาดุกบิ๊กอุย หรือ ปลาดุกเทศ (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*) (อุทัยรัตน์, 2533)

ปลาดุกแอฟริกัน ที่นำมาเป็นพ่อพันธุ์ อยู่ในตระกูลแอฟริกันแคทฟิช (African catfish) โดยมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Clarias gariepinus*, *C. lazeari*, *C. senegalensis* และ *C. mossambicus* ชื่อสามัญ African sharptooth catfish ถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศแอฟริกากลาง โดยนำเข้ามาในประเทศไทยเพื่อทำการเพาะพันธุ์เมื่อปี พ.ศ. 2529 – 2530 โดยเกษตรกรนำเข้ามาจากทางประเทศลาว ลักษณะเด่นของปลาชนิดนี้คือ มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว มีขนาดใหญ่ กินอาหารได้แทบทุกชนิด มีความต้านทานต่อโรคสูง แต่มีข้อด้อยตรงที่เนื้อปลาค่อนข้างเหลวและมีสีซีดไม่น่ารับประทาน (มานพ และคณะ, 2533)

ปลาดุกอุย ที่นำมาเป็นแม่พันธุ์ เป็นปลาพื้นเมืองของประเทศไทย มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Clarias macrocephalus* ชื่อสามัญ Walking catfish แหล่งอาศัยตามแม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง ทั่วประเทศไทย โดยปกติจะอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำจืด แต่อาจจะทนได้ในน้ำกร่อย กินอาหารตามหน้าดิน มีหนวดที่รับความรู้สึกได้ไว มีลักษณะเด่นที่เนื้อรสชาติดี มีสีเหลืองน่ารับประทาน มีราคาสูง แต่มีข้อด้อยตรงที่มีการเจริญเติบโตช้า (อุทัยรัตน์, 2538) เมื่อนำปลาดุกทั้งสองสายพันธุ์นี้มาทำการผสมเทียมข้ามพันธุ์กัน โดยการฉีดฮอร์โมนกระตุ้นการตกไข่ จะทำให้ได้ลูกปลาดุกพันธุ์ผสมที่มีลักษณะที่เหมาะสม เพื่อเลี้ยงเป็นการค้า โดยมีลักษณะที่เด่นของพ่อและแม่ คือ มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว เหมือนพ่อพันธุ์ และมีลักษณะเนื้อที่นุ่มไม่เหลว มีสีเหลือง รสชาติดี เหมือนกับปลาดุกอุย นอกจากนี้ ปลาดุกลูกผสม สามารถกินอาหารได้ทุกชนิด มีความต้านทานต่อโรค และสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี (วิเศษ, 2536)

ความต้องการสารอาหารของปลาคูกลุผสม

ความต้องการโปรตีน

โปรตีนเป็นสารอินทรีย์ที่พบได้ทั้งในพืชและสัตว์ โดยสัตว์จะมีองค์ประกอบของโปรตีนมากกว่าสิ่งมีชีวิตประเภทอื่น ๆ แหล่งของโปรตีนจะมาจากพืชและสัตว์ ซึ่งมีความแตกต่างกันเนื่องจากชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่แตกต่างกัน โปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของอาหารปลาส่วนใหญ่จะได้มาจากปลาป่น เนื่องจากเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต

กรมประมง(2522) แนะนำว่า ปลาคูที่กินอาหารประเภทเนื้ออย่างเดียว จะทำให้การเจริญเติบโตไม่ได้สัดส่วน ควรให้อาหารประเภทเนื้อในอัตราส่วนร้อยละ 30 -35 ของอาหารประเภทพืชและแป้ง จากการทดลองของอำนาจ และ เวียง (2525) หาความต้องการโปรตีนของปลาคูค้ำ สรุปรว่าอาหารที่มีระดับโปรตีนร้อยละ 35 ของอาหาร จะทำให้ปลามีการเจริญเติบโตดีที่สุด แต่ที่ระดับโปรตีนร้อยละ 30 ของน้ำหนักอาหาร จะทำให้ปลามีการแลกเนื้อที่ดี อัตรารอดตายสูง และมีต้นทุนการผลิตต่ำ มะลิ (2530) แนะนำความต้องการโปรตีนของปลาคูขนาด 2-4 เซนติเมตร ควรมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 35-40 ของน้ำหนักอาหาร ปลาขนาด 5- 6 เซนติเมตรถึงปลาขนาดตลาด ต้องการอาหารที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 25- 30 ของน้ำหนักอาหาร พ่อแม่ปลาต้องการอาหารที่มีระดับโปรตีนร้อยละ 28-32 ของน้ำหนักอาหาร

อาหารที่มีระดับโปรตีนมากเกินไปและมีพลังงานที่ไม่ได้มาจากโปรตีน (non protein energy) น้อยเกินไป จะมีผลทำให้การเจริญเติบโตของปลาลดน้อยลง จากการศึกษาในปลา channel catfish พบว่า การเพิ่มโปรตีนในอาหารมากกว่าร้อยละ 45 โดยไม่เพิ่มสัดส่วนของพลังงานที่ไม่ได้มาจากโปรตีน จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดน้อยลง (Lovell, 1989) โดยปลา channel catfish ที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณโปรตีนสูง ๆ (มากกว่าร้อยละ 42) และมีระดับพลังงานที่ไม่ได้มาจากโปรตีนต่ำ (น้อยกว่า 1.5 กิโลแคลอรีต่อกรัม) การเจริญเติบโตจะหยุดชะงักลง แต่เมื่อเพิ่มพลังงานที่ไม่ได้มาจากโปรตีนในอาหารมากขึ้น การเจริญเติบโตของปลาจะดีขึ้น (FAO/UNDP, 1980) ดังนั้น ระดับโปรตีนที่เหมาะสมจะต้องได้สัดส่วนกับพลังงานในอาหาร เพราะปลาจะกินอาหารให้ได้พลังงานตามที่ร่างกายต้องการแล้วจะหยุดกินพลังงานจึงเป็นตัวที่ควบคุมปริมาณการกินอาหารของปลาในแต่ละวัน (มะลิ, 2530)

ความต้องการไขมัน

ไขมันเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของปลา และเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต และสืบพันธุ์ของปลา ไขมันเป็นตัวช่วยละลาย คัดซึมและนำพาวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน ไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ไขมันจึงเป็นสารอาหารที่จำเป็นที่สัตว์น้ำจะต้องได้รับให้เพียงพอกับความ ต้องการ แต่การได้รับไขมันมากเกินไปสัตว์น้ำจะเพิ่มน้ำหนักอย่างรวดเร็ว และส่งผลต่อระดับของ ไตรกลีเซอไรด์และโคเลสเตอรอลในเลือดสูง (Furuichi and Yone, 1981) ไขมันในอาหารยังช่วย ในการอัดเม็ดอาหารให้เป็นเม็ดดีขึ้น และมีรสชาติชวนกินเพิ่มขึ้นด้วย ปริมาณความต้องการไขมัน ของปลาจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของน้ำ ขนาด อายุของปลา การทำงานของร่างกาย วิธีการให้อาหาร ปริมาณแสง สภาวะแวดล้อม คุณสมบัติทางเคมีของน้ำ องค์ประกอบของอาหาร และชนิด ของปลา (Halver, 1989) มะลิ (2530) แนะนำว่า ในอาหารปลาคูควรมีไขมันผสมอยู่ทั้งหมด 6-8 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ Stowell and Gatlin (1992) ทดลองหาระดับของไขมันในอาหารปลา channel catfish พบว่า ไขมัน 10 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้น้ำหนักปลาเพิ่มสูงขึ้นและประสิทธิภาพการใช้อาหารดี แต่ปลาไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งพลังงานนี้ได้เต็มที่ ค่าพลังงานที่ปลาได้จากการย่อยไขมัน เท่ากับ 8.0 กิโลกรัมต่อกรัม ซึ่งปกติพลังงานทั้งหมดที่ได้จากไขมันเท่ากับ 9.45 กิโลกรัมต่อกรัม (Halver, 1980) การย่อยไขมันในกลุ่มแคทฟิชสามารถย่อยได้ดีกว่าคาร์โบไฮเดรตด้วย (Tucker and Robinsons, 1990) ระดับของไขมันในอาหารปลาสามารถมีได้ถึงร้อยละ 50 (FAO/UNDP, 1980) แต่ Dupree and Sneed (1967) ศึกษาพบว่า การเพิ่มไขมันขึ้นเป็นร้อยละ 16 ของน้ำหนักอาหาร จะทำให้การสะสมโปรตีน และน้ำหนักปลาแซนเนลแคทฟิชลดลง

ความต้องการคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารอินทรีย์ที่พบมากที่สุดในธรรมชาติ โดยปกติจะพบมากในพืช คาร์โบไฮเดรตที่ใช้เป็นอาหารสัตว์น้ำ คือ แป้ง ส่วนใหญ่จะได้มาจากเมล็ดธัญพืช (ร้อยละ 22 – 80) เช่น ข้าวและข้าวโพด และจากพืชหัว (ร้อยละ 32) เช่น มันสำปะหลัง เป็นต้น

คาร์โบไฮเดรตในอาหารปลานั้นแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์น้ำ ประเภทและปริมาณของ คาร์โบไฮเดรตในอาหาร และกรรมวิธีในการเตรียมอาหาร (เวียง, 2543) แต่ถ้าในอาหารปลา มี ปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่มาก ความสามารถในการย่อยได้ของอาหารจะลดลง และส่งผลต่อการ สะสมของไกลโคเจนในตับ จากการวิเคราะห์พบว่าเมื่อตับมีปริมาณไกลโคเจนสะสมอยู่เกินร้อยละ

12 ของน้ำหนักรับ จะทำให้ปลามีอาการโรคตับ และถ้ามีมากเกินไปร้อยละ 16 ของน้ำหนักรับ ปลาจะตาย (ประเสริฐ และ คณะ, 2525) นอกจากนี้จะมีอาการอื่น ๆ เกิดขึ้นอีก เช่น ปลามีอาการอ่อนแอ เคลื่อนไหวช้าลง เกิดโรคท้องบวม การผสมพันธุ์ลดลง เนื่องจากไขมันเข้าไปแทนที่ไขปลาในรังไข่ ทำให้ไข่ปลามีจำนวนน้อยลง (อำนาจ, 2525; อุทธร, 2529)

วราภรณ์ (2536) ศึกษาแหล่งของคาร์โบไฮเดรต ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ แป้งเหนียว ข้าวโพด ข้าวเหนียว และ ปลาข้าว ในสูตรอาหารที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 30 พบว่า ลูกปลาดุกอูยมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน แต่ที่ระดับของคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลาดุกอูยอยู่ที่ร้อยละ 52.13 โดยลูกปลา มี อัตราการเจริญเติบโต และอัตราการรอดตายสูงที่สุด

Hasting and Dickie (1972) รายงานการทดสอบระดับโปรตีน ในอาหารปลาแซนเนลเกท ฟิช 4 ระดับ กับคาร์โบไฮเดรต 2 ระดับ พบว่าที่ระดับโปรตีนสูง การเปลี่ยนแปลงของระดับคาร์โบไฮเดรต จะไม่มีผลกระทบต่อโปรตีนและอัตราการแลกเนื้อ แต่ที่ระดับโปรตีนต่ำ การเพิ่มขึ้นของคาร์โบไฮเดรต จะช่วยให้การสังเคราะห์โปรตีนและอัตราการแลกเนื้อดีขึ้น วีระพงศ์ และ Wee (2532) รายงานว่าที่ระดับโปรตีนเดียวกันเมื่อเพิ่มระดับมันสำปะหลัง มากขึ้นจะทำให้ไขมันในซากปลานิลเพิ่มมากขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนมากขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ถังไฟเบอร์กลาสขนาด 500 ลิตร จำนวน 28 ถัง เป็นถังที่ใช้ในการทดลอง
2. ปลาอุกกลมผสม ขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 60 กรัม จำนวน 280 ตัว
3. วัตถุดิบหลักในการผลิตอาหารปลาประกอบด้วย ปลาป่น กากถั่วเหลือง มันเส้นบด กากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง โดยมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นเปอร์เซ็นต์ดังนี้

	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใย	ความชื้น	NFE
ปลาป่น	53.09	12.17	23.78	2.4	6.56	2.0
กากถั่วเหลือง	43.14	1.73	6.27	6.8	10.06	32.0
มันเส้นบด	3.68	0.41	7.2	4.68	10.5	73.53
กากมันสำปะหลัง	1.14	1.8	3.54	20.15	12.07	63.07
กากมะพร้าว	5.67	18.8	1.54	14.19	8.45	51.35

4. เครื่องผสมอาหาร
5. เครื่องบดเนื้อแบบเกลียวอัด (MINCER) ติดตั้งกับต้นกำลังขนาด 0.5 แรงม้า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูตะแกรงอัดอาหาร 3 มิลลิเมตร พร้อมเครื่องวัดอุณหภูมิขณะอัดอาหาร
6. เครื่องมือ และอุปกรณ์วิเคราะห์โภชนาในวัตถุดิบและอาหาร
7. เครื่องมือ และอุปกรณ์ ในการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของอาหาร
8. เครื่องมือ และอุปกรณ์ ในการวิเคราะห์การย่อยได้ของอาหาร
9. เอมไซม์ Amyloglucosidase และอุปกรณ์ในการวัดความสุกของแป้ง
10. อุปกรณ์ในการผ่าตัด
11. อุปกรณ์ในการชั่งวัด

วิธีการ

การทดลองที่ 1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของอาหารปลาดุกลูกผสมที่ใช้กากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง ที่ระดับต่าง ๆ กัน

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของอาหารปลาดุกลูกผสมที่ใช้กากมะพร้าวและกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ กัน เป็นการศึกษาระดับความเหมาะสมของการใช้กากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง ในการผลิตอาหารเม็ดที่ระดับ 0, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร โดยศึกษาถึงลักษณะทางกายภาพของอาหารเม็ด ความคงทนของอาหารเม็ดในน้ำ การเกิดเจลลิตินเซชัน และองค์ประกอบทางโภชนาในอาหาร การเตรียมอาหารทดลอง โดยผลิตอาหารที่มีระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์โปรตีน พลังงานที่ย่อยได้ 2,800 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม เริ่มจากทำการบดวัตถุดิบอาหารหลักประเภท กากถั่วเหลือง มันเส้น ด้วยเครื่องบด ส่วนวัตถุดิบประเภทกากมะพร้าวและกากมันสำปะหลัง ใช้ตะแกรงร่อนขนาด 0.5 มิลลิเมตร ร่อนวัตถุดิบเพื่อลดขนาดวัตถุดิบและแยกสิ่งปลอมปนในอาหารออก หลังจากนั้นชั่งวัตถุดิบอาหารแต่ละชนิดตามน้ำหนักอาหารแต่ละสูตร แล้วนำมาผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมอาหาร เติมน้ำสะอาด ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหาร หลังจากผสมให้เข้ากันดี นำมาทำการอัดเม็ดด้วยเครื่องบดเนื้อ แบบเกลียวอัดขนาดรูตะแกรงอัดอาหาร 3 มิลลิเมตร จากนั้นนำอาหารเม็ดที่ได้อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วบรรจุในถุงพลาสติกเก็บในถังที่มิดชิดเพื่อทำการทดลองต่อไป อาหารที่ใช้ในการทดลองจะแบ่งเป็น 7 ชุด ดังนี้

- ชุดที่ 1 อาหารเปรียบเทียบ (ไม่ใส่กากมะพร้าวและกากมันสำปะหลัง)
- ชุดที่ 2 ใช้กากมะพร้าว 10 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร
- ชุดที่ 3 ใช้กากมะพร้าว 15 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร
- ชุดที่ 4 ใช้กากมะพร้าว 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร
- ชุดที่ 5 ใช้กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร
- ชุดที่ 6 ใช้กากมันสำปะหลัง 15 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร
- ชุดที่ 7 ใช้กากมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร

ตารางที่ 6 ส่วนประกอบของอาหารปลาคุณภาพผสมที่ใช้กากมะพร้าวและกากมันสำปะหลังเป็น
ส่วนผสม ที่ระดับต่าง ๆ

วัตถุดิบ	ปริมาณที่ใช้ในสูตรอาหาร (เปอร์เซ็นต์)						
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 4	ชุดที่ 5	ชุดที่ 6	ชุดที่ 7
ปลาป่น	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
กากถั่วเหลือง	30.0	28.0	28.0	28.0	29.0	29.0	30.0
มันเส้นบด	31.0	24.0	20.0	16.0	21.0	16.0	10.0
กากมันสำปะหลัง	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	15.0	20.0
กากมะพร้าว	0.0	10.0	15.0	20.0	0.0	0.0	0.0
น้ำมันพืช	4.0	4.0	3.0	2.0	5.0	5.0	5.0
น้ำมันปลา	1.0	0	0	0	1.0	1.0	1.0
สารเหนียว	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
พรีมิกซ์ ¹	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
รวม	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
องค์ประกอบทางเคมี (ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์)							
% โปรตีน	30.98	30.42	30.56	30.70	30.30	30.18	30.45
% ไขมัน	9.40	10.98	10.94	11.08	10.02	9.75	10.19
% เยื่อใย	3.74	4.50	5.10	5.65	5.36	6.21	7.08
% เถ้า	13.69	12.62	12.86	12.27	12.44	12.34	11.10
% ความชื้น	5.12	5.34	6.13	6.46	5.56	5.66	5.19
% NFE	37.07	36.15	34.44	33.85	36.32	35.86	35.99
พลังงาน(Kcal/kg) ²	2,762.91	2,847.37	2,806.11	2,806.84	2,770.02	2,732.77	2,780.75

¹พรีมิกซ์ 1 กิโลกรัมที่ใช้ประกอบด้วย vitamin A 7,000,000 IU, vitamin D 1,400,000 IU vitamin E 3 กรัม, vitamin K 0.5 กรัม, vitamin B₁ 1 กรัม, vitamin B₂ 4 กรัม, vitamin B₆ 1 กรัม, vitamin B₁₂ 15 กรัม, pantothenic acid 5 กรัม, niacin 10.0 กรัม, vitamin C 5.0 กรัม, แมงกานีส 25 มิลลิกรัม, สังกะสี 20 มิลลิกรัม, ทองแดง 5 มิลลิกรัม, ไอโอดีน 5 มิลลิกรัม, โคบอลต์ 0.05 มิลลิกรัม, ซีลีเนียม 0.3 มิลลิกรัม และเหล็ก 30 มิลลิกรัม

²ค่าจากการคำนวณ

พลังงานย่อยได้ DE = (%โปรตีน×3.5) + (%ไขมัน×8.0) + (%NFE×2.5) (NRC, 1993)

สภาวะการทดลอง

การอัดเม็ดอาหารแต่ละสูตร ด้วยความชื้นเริ่มต้นของอาหารประมาณ 33–35 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิของอาหารในการอัดเม็ดอยู่ที่ 55–60 องศาเซลเซียส ขนาดความยาวของเม็ดอาหารประมาณ 0.5–1 เซนติเมตร หลังจากอัดเม็ดยังอาหารไปลดความชื้นโดยการอบแห้ง หรือตากแดดให้ความชื้นเหลือไม่มากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์

การบันทึกข้อมูล

เก็บข้อมูลปริมาณ อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดเม็ด องค์ประกอบทางเคมีของอาหารเม็ด ความคงทนของเม็ดอาหารในน้ำ การเกิดเจลลิติน (ความสุกของแป้ง)

อุณหภูมิของอาหารที่ใช้ในการอัดเม็ด ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) วัดที่ตัวอาหาร ขณะออกมาจากเครื่องอัดเม็ด โดยควบคุมปริมาณของอาหารที่เข้าสู่ช่วงการอัดให้สัมพันธ์กับอุณหภูมิที่อัดเม็ด

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารเม็ด แบบ Proximate analysis โดยวิเคราะห์ความชื้น โปรตีน เยื่อใย และเถ้า ตามวิธีของ AOAC. (2000) ดังนี้

วิเคราะห์ความชื้น โดยวิธี Oven-drying วิเคราะห์เถ้า โดยวิธี Muffle furnace combustion วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน โดยวิธี Micro-kjeldahl วิเคราะห์ปริมาณไขมัน โดยวิธี ether-extraction วิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย โดยวิธี Classical method

ความคงทนของอาหารเม็ดในน้ำ หาโดยการนำตัวอย่างอาหาร 5 กรัม ใส่ตะแกรงนำอาหารไปแช่ในน้ำที่มีการให้อากาศพร้อมกับจับเวลาที่ 10, 30, และ 60 นาที จากนั้นนำอาหารขึ้นมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง และใส่ไว้ในโถดูดความชื้นนาน 30 นาที เพื่อให้อุณหภูมิของถ้วยกระเบื้องเย็นลง จากนั้นนำอาหารที่ได้อบแห้งมาชั่งและคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักอาหารที่คงเหลืออยู่ตามแต่ละช่วงเวลา

การเกิดเจลาตินไนซ์ (ความสุกคิบของแป้ง) โดยบดตัวอย่างอาหารประมาณ 0.2 กรัม นำมาวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เจลาตินไนซ์ตามวิธีของ AACC (1971); Atwell *et al.* (1988) โดยใช้การทำงานเอนไซม์ Amyloglucosidase วัดความยาวคลื่นที่ 450 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan multiple range test: DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (อนันต์ชัย, 2539)

การทดลองที่ 2 การเจริญเติบโต และการใช้ประโยชน์ของอาหารกากมะพร้าวและกากมัน สำปะหลังในปลาดุกลูกผสม

การศึกษาการใช้กากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังในอาหารปลาดุกลูกผสม เป็น การศึกษาการเจริญเติบโต การย่อยได้ของอาหารในปลาดุกลูกผสมที่อัดเม็ดโดยเครื่องบดเนื้อ โดยมี ระดับส่วนผสมที่ได้จากกากมะพร้าวและกากมันสำปะหลังที่ 0, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร โดยศึกษาผลของอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลา อัตรารอด ประสิทธิภาพของอาหาร สุขภาพ ของปลา ทำการศึกษาในปลาดุกลูกผสมขนาด 60 กรัม เป็นระยะเวลา 2 เดือน โดยใช้อาหารที่มี โปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ พลังงานที่ย่อยได้ 2,800 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม มีสูตรอาหารตามตารางที่ 7 แบ่งเป็น 7 ชุดการทดลอง (treatment) ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ (replication) ดังนี้

ชุดที่ 1 อาหารเปรียบเทียบ (ไม่ใส่กากมะพร้าวและกากมันสำปะหลัง)

ชุดที่ 2 ใช้กากมะพร้าว 10 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร

ชุดที่ 3 ใช้กากมะพร้าว 15 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร

ชุดที่ 4 ใช้กากมะพร้าว 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร

ชุดที่ 5 ใช้กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร

ชุดที่ 6 ใช้กากมันสำปะหลัง 15 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร

ชุดที่ 7 ใช้กากมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร

สภาวะการทดลอง

ทำการทดลองในถังไฟเบอร์กลาสขนาดปริมาตรน้ำ 500 ลิตร มีระบบให้อากาศด้วยสายยาง ต่อกับหัวทราย ปล่อยปลาดุกลูกผสมขนาด 60 กรัม จำนวน 10 ตัวต่อถังให้อาหารสองครั้งต่อวัน โดยทำการโปรยอาหารให้กิน จนปลาอิ่มจึงหยุดให้อาหาร สุ่มวัดคุณภาพน้ำในแต่ละชุดการทดลอง ก่อนและหลังการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ในช่วง 4.54 – 5.76 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิอยู่ในช่วง 27.6 – 28.3 องศาเซลเซียส แอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.257 – 1.587 มิลลิกรัมต่อ ลิตร ความกระด้างอยู่ในช่วง 93.35 – 107.74 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเป็นด่างของน้ำอยู่ในช่วง 75.54 – 98.88 มิลลิกรัมต่อลิตร

การบันทึกข้อมูล

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต อัตรารอด ประสิทธิภาพของอาหาร และสุขภาพของปลา ดังนี้
การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต และอัตรารอด ทำการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 2 สัปดาห์ โดยบันทึกค่าดังนี้

1. น้ำหนักเฉลี่ยก่อน และ หลังการทดลอง
2. น้ำหนักเพิ่ม (Weight Gain: WG)
3. น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (Average Daily weight Gain: ADG)
4. อัตรารอด (Survival rate: SR)

การเก็บข้อมูลประสิทธิภาพของอาหาร โดยบันทึกค่าดังนี้

1. ปริมาณอาหารที่กิน (Feed Intake: FI)
2. อาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน (Daily Feed Intake : DFI)
3. อัตราการเปลี่ยนอาหาร (Feed conversion rate: FCR)
4. ประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหาร (Protein Efficiency Ratio: PER)

การเจริญเติบโต

$$\begin{array}{l} \text{น้ำหนักเพิ่ม} \\ \text{(Weight gain)} \end{array} = \frac{(\text{น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น})}{\text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น}}$$

$$\begin{array}{l} \text{น้ำหนักเพิ่มต่อตัวต่อวัน} \\ \text{(Average daily gain)} \end{array} = \frac{(\text{น้ำหนักปลาเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักปลาเฉลี่ยเริ่มต้น})}{\text{ระยะเวลาการทดลอง}}$$

$$\begin{array}{l} \text{อัตรารอด} \\ \text{(Survival rate)} \end{array} = \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้น}}$$

$$\begin{array}{l} \text{อัตราการกินอาหาร} \\ \text{(Daily feed intake)} \end{array} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากินเฉลี่ยต่อวัน} \times 100}{(\text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น} + \text{น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}) / 2}$$

การใช้ประโยชน์จากอาหาร

$$\begin{aligned} \text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ} &= \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กิน}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่ม}} \\ (\text{Feed conversion ratio: FCR}) & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพของโปรตีน} &= \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลา}}{\text{น้ำหนักของโปรตีนที่ปลากิน}} \\ (\text{Protein efficiency ratio: PER}) & \end{aligned}$$

$$\text{ต้นทุนค่าอาหาร} = \text{ราคาอาหาร 1 กก.} \times \text{FCR}$$

การเก็บข้อมูลสุขภาพปลา

ศึกษาองค์ประกอบของเลือดโดยวัดค่าฮีโมโกลบิน (hemoglobin) จำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดง และเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดแดง (hematocrit) ด้วยการสุ่มตัวอย่างเลือดปลาซ้ำละ 1 ตัว ด้วยหลอดเก็บเลือด Monovette ซึ่งดูดสารละลาย ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) แล้วฉีดออกให้หมด ก่อนจะทำการเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อป้องกันเลือดแข็งตัว จากนั้นเก็บเลือดในหลอด ที่แช่อยู่ในน้ำแข็งก่อนนำไปวิเคราะห์ปริมาณของฮีโมโกลบิน จำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดง และเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดแดง

การวิเคราะห์ปริมาณ น้ำตาลในเลือด (Glucose) และ ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) โดยเก็บตัวอย่างเลือดปลาในแต่ละซ้ำจำนวน 1 ตัว วิเคราะห์โดยใช้ชุดทดสอบของ Glucose liquicolor[®] (Emzymatic) และ Triglyceride liquicolor[®] (mono)

การวิเคราะห์ปริมาณ ไกลโคเจนสะสมในตับปลา โดยสุ่มเก็บตัวอย่างตับปลาซ้ำละ 1 ตัว จำนวน 0.2 กรัม เติม trichloroacetic acid (TCA) 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วเข้าเครื่องปั่นเนื้อเยื่อ (homogenizer) แล้วนำมาเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifugation) ที่ 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที แยกสารละลายที่ได้มาทำการปั่นเหวี่ยงอีกครั้ง ดูดสารละลายส่วนใสด้านบน 0.2 – 1 มิลลิลิตร เติม TCA 1 มิลลิลิตร และ 95 เปอร์เซ็นต์ เอทานอล 5 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37-40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำสารละลายที่บ่มแล้ว ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที เก็บเฉพาะส่วนตะกอน มาเติมน้ำกลั่นที่ต้มจนอุ่น 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติม กรดซัลฟูริก

เข้มข้น 5 มิลลิกรัม และ ฟีนอล 5 เปอร์เซ็นต์ วัดความยาวคลื่นที่ 490 นาโนเมตร (ดัดแปลงจาก Rosas *et al.*, 2002)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan multiple range test: DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (อนันต์ชัย, 2539)

การทดลองที่ 3 การศึกษาสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอาหารที่ใช้กากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง ในปลาดุกอุกผสม

สภาวะการทดลอง

ทำการทดลองในปลาดุกอุกผสมระยะเติบโตที่มีขนาด 80-120 กรัม ศึกษาการย่อยได้ของอาหารที่มีระดับย่อยสูงสุดในการทดลอง โดยเลี้ยงปลาดุกในตู้กระจกขนาดกว้าง x ยาว x สูง (18 นิ้ว x 24 นิ้ว x 20 นิ้ว) จำนวน 15 ตู้ พร้อมหัวทรายให้อากาศ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design) แบ่งเป็น 3 กลุ่ม (treatment) กลุ่มละ 5 ซ้ำ (replication) โดยสุ่มปลาซ้ำละ 5 ตัว ดังนี้

ชุดที่ 1 อาหารเปรียบเทียบ (ไม่ใส่กากมะพร้าวและกากมันสำปะหลัง)

ชุดที่ 2 ใช้กากมะพร้าว 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร

ชุดที่ 3 ใช้กากมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร

อาหารทดลองที่ใช้เป็นอาหารเม็ดระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ พลังงาน 2,800 กิโลแคลอรี ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม โดยมีระดับของกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์เป็นส่วนผสมในอาหาร และใส่โครมิกซออกไซด์ (Cr_2O_3) ในอาหารทดลอง 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นตัวชี้วัดสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอาหารในตัวปลา การเตรียมอาหารทดลองปฏิบัติเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 ในการทดลอง ให้อาหารปลาในแต่ละกลุ่มการทดลองวันละ 2 ครั้งคือ เช้าและเย็นเป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อปรับสภาพปลาให้คุ้นเคยกับอาหาร จากนั้นทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำทั้งหมด ทำความสะอาดตู้ปลา และให้อาหารปลาในแต่ละกลุ่มทดลอง ทำการเก็บอาหารและคัดตะกอนออกหลังให้อาหาร 30 นาที จากนั้นก่อนการให้อาหารมือต่อไปทำการเก็บรวบรวมมูลโดยใช้ผ้ากรอง ในแต่ละกลุ่มการทดลองนำมาอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครมิกซออกไซด์ในมูลปลา โดยวิธีของ Furukawa (1966) นำผลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในมูล และนำคำนวณหาสัมประสิทธิ์การย่อยอาหาร (Dry matter digestion coefficient) ดังสูตร

$$\text{สัมประสิทธิ์การย่อยอาหาร} = 100 - 100 \left[\frac{\% \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ ในอาหาร}}{\% \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ ในมูล}} \right]$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan multiple range test: DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (อนันต์ชัย, 2539)

สถานที่ทำการทดลอง

ศูนย์พัฒนาเทคโนโลยีอาหารสัตว์น้ำ และภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร

ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของอาหารเม็ดที่ใช้กากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ กัน

ผลการศึกษาอาหารที่ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 10, 15, และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยผสมวัตถุดิบอาหารให้มีความชื้นอยู่ที่ 34.82 ± 0.21 เปอร์เซ็นต์ และอัดเม็ดอาหารด้วยเครื่องบดเนื้อแบบเกลียวอัด เส้นผ่าศูนย์กลางของรูอัดอาหาร 3 มิลลิเมตร อุณหภูมิขณะอัดเม็ดอยู่ที่ 55.17 ± 3.87 องศาเซลเซียส จากนั้นอบอาหารที่อัดเม็ดแล้วในตู้อบ ลมร้อนที่ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นนำอาหารมาวิเคราะห์ความคงทนของอาหารเม็ดในน้ำได้ผลตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ความคงทนของอาหารปลาคุกกี้ที่ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ ในน้ำเป็นระยะเวลา 10 และ 60 นาที (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)

ระดับในอาหาร (เปอร์เซ็นต์)	ความคงทนของอาหารในน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	
	ที่เวลา 10 นาที	ที่เวลา 60 นาที
ควบคุม (0 %)	97.28 ± 1.33^a	84.35 ± 0.58^a
กากมะพร้าว 10%	93.70 ± 0.95^a	88.78 ± 0.15^a
กากมะพร้าว 15 %	97.13 ± 1.28^a	84.45 ± 4.66^a
กากมะพร้าว 20 %	93.17 ± 0.62^a	87.16 ± 3.03^a
กากมันสำปะหลัง 10 %	94.71 ± 1.00^a	88.13 ± 3.69^a
กากมันสำปะหลัง 15 %	93.77 ± 2.01^a	88.20 ± 0.15^a
กากมันสำปะหลัง 20 %	95.33 ± 3.38^a	84.88 ± 3.35^a
p-value	0.225	0.523

หมายเหตุ a, b, และ c อักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ความคงทนของอาหารเม็ดที่ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ กัน ในน้ำเป็นเวลา 10 และ 60 นาที พบว่าไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) โดยที่ระยะเวลา 10 นาที อาหารมีความคงทนอยู่ที่ 97.28 ± 1.33 , 93.70 ± 0.95 , 97.13 ± 1.28 , 93.17 ± 0.62 , 94.71 ± 1.00 , 93.77 ± 2.01 และ 95.33 ± 3.38 ตามลำดับ และที่ระยะเวลา 60 นาที อาหารมีความคงทนอยู่ที่ 84.35 ± 0.58 , 88.78 ± 0.15 , 84.45 ± 4.66 , 87.16 ± 3.03 , 88.13 ± 3.69 , 88.20 ± 0.15 และ 84.88 ± 3.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 7)

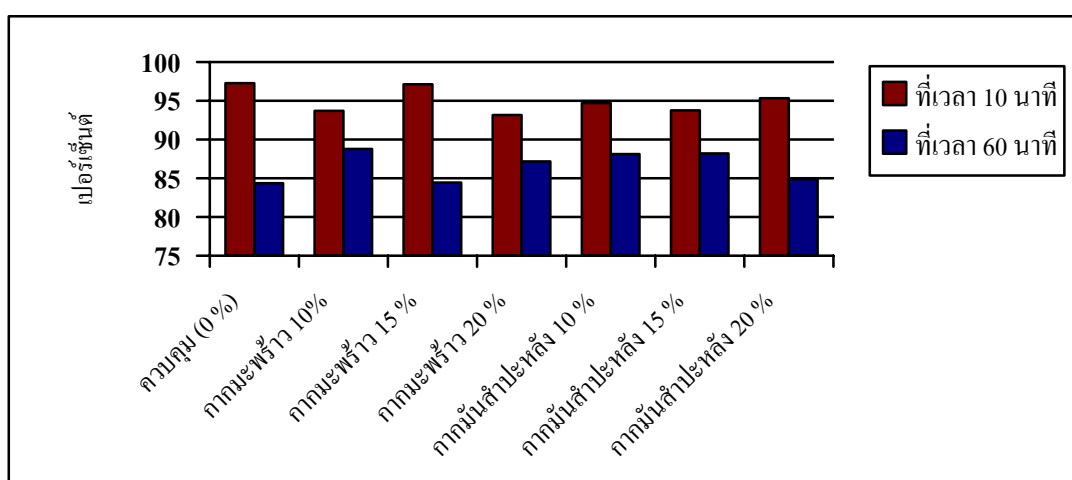
เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลลิตินัส ของอาหารที่อัดเม็ดด้วยเครื่องบดเนื้อแบบเกลียวอัด (MINCER) โดยมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ 34.82 ± 0.21 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิในการอัดเม็ดอยู่ที่ 55.17 ± 3.87 องศาเซลเซียส วิเคราะห์โดยใช้เอนไซม์ Amyloglucosidase วัดความยาวคลื่นที่ 450 นาโนเมตรได้ผลดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลลิตินัสของแป้งในอาหารที่ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังระดับต่าง ๆ กัน

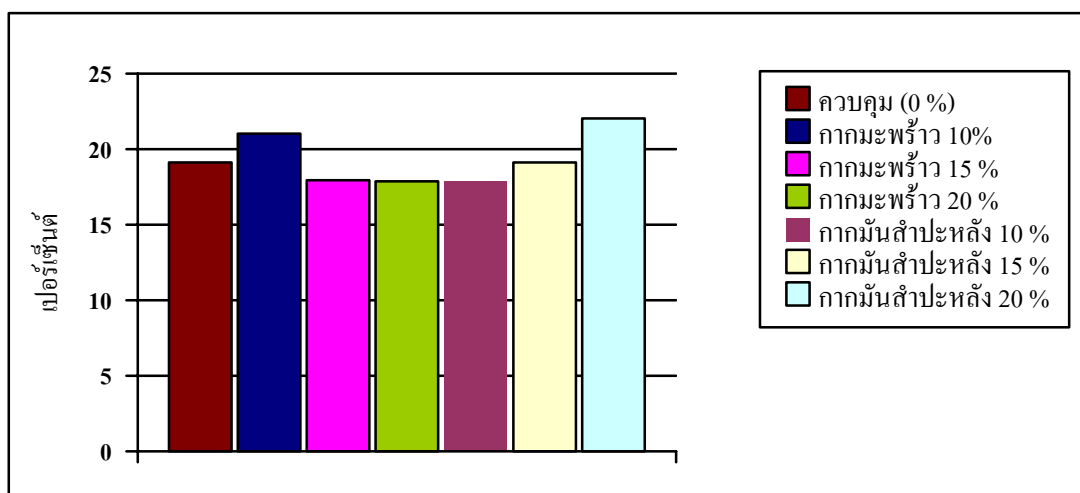
ระดับในอาหาร (เปอร์เซ็นต์)	การเกิดเจลลิตินัสของแป้งในอาหาร (เปอร์เซ็นต์)
ควบคุม (0 %)	19.12 ± 5.07^a
กากมะพร้าว 10%	21.03 ± 0.94^a
กากมะพร้าว 15 %	17.95 ± 1.30^a
กากมะพร้าว 20 %	17.87 ± 4.48^a
กากมันสำปะหลัง 10 %	17.87 ± 4.95^a
กากมันสำปะหลัง 15 %	19.12 ± 2.95^a
กากมันสำปะหลัง 20 %	22.03 ± 1.18^a
p-value	0.816

หมายเหตุ a, b, และ c อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลาคติในซ้ของแป้งในอาหารที่ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง ที่ระดับ 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร พบว่าไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าตั้งแต่ 17.87 ± 4.48 - 22.03 ± 1.18 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 1 ความคงทนของอาหารปลาคูที่ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ กันในน้ำ เป็นเวลา 10 และ 60 นาที



ภาพที่ 2 เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลาคติในซ้ของอาหารที่ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง ที่ระดับต่าง ๆ โดยใช้เอนไซม์ Amyloglucosidase

การทดลองที่ 2 การเจริญเติบโต สุขภาพของปลา และการใช้ประโยชน์ของอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังในปลาคูกลูกผสม

การเจริญเติบโตของปลาที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง ที่ระดับ 0, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 1 เดือน

ตารางที่ 9 น้ำหนักเฉลี่ยของปลาคูกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง ในระดับต่างๆเป็นระยะเวลา 1 เดือน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE)

ระดับในอาหาร (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อ เริ่มต้น(กรัม/ตัว)	น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อ สิ้นสุด(กรัม/ตัว)	น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย (กรัม/ตัว)	น้ำหนักเพิ่ม ต่อตัวต่อวัน (กรัม/ตัว/วัน)
ควบคุม (0 %)	63.67 $\pm$ 6.64 ^a	87.33 $\pm$ 2.91 ^a	22.33 $\pm$ 6.17 ^a	0.66 $\pm$ 0.18 ^a
กากมะพร้าว 10%	62.67 $\pm$ 4.10 ^a	90.67 $\pm$ 6.67 ^a	28.00 $\pm$ 7.23 ^a	0.83 $\pm$ 0.21 ^a
กากมะพร้าว 15 %	62.33 $\pm$ 3.53 ^a	96.00 $\pm$ 2.08 ^a	33.67 $\pm$ 4.98 ^a	0.99 $\pm$ 0.15 ^a
กากมะพร้าว 20 %	64.67 $\pm$ 4.33 ^a	90.00 $\pm$ 1.15 ^a	25.33 $\pm$ 3.18 ^a	0.75 $\pm$ 0.09 ^a
กากมันสำปะหลัง 10 %	64.00 $\pm$ 1.00 ^a	92.33 $\pm$ 3.84 ^a	28.33 $\pm$ 3.38 ^a	0.84 $\pm$ 0.10 ^a
กากมันสำปะหลัง 15 %	63.00 $\pm$ 2.65 ^a	82.33 $\pm$ 1.33 ^a	19.33 $\pm$ 1.86 ^a	0.57 $\pm$ 0.06 ^a
กากมันสำปะหลัง 20 %	63.67 $\pm$ 0.67 ^a	87.33 $\pm$ 0.67 ^a	23.67 $\pm$ 0.67 ^a	0.70 $\pm$ 0.02 ^a
p-value	0.999	0.184	0.447	0.464

หมายเหตุ a, b, และ c อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ในระยะเวลา 1 เดือนแรกปลาคูกลูกผสมมีน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้น (62.33 $\pm$ 3.53 -64.67 $\pm$ 4.33 กรัม) ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติในแต่ละชุดการทดลอง ($p > 0.05$) เมื่อทำการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 1 เดือนพบว่า ปลาคูกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสม กากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ กันทั้ง 7 ชุดการทดลอง (ชุดควบคุม, และชุดที่ผสม กากมะพร้าว กับ กากมันสำปะหลัง 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์) มีน้ำหนักเฉลี่ย น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย และน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดอยู่ที่ระหว่าง 82.33 $\pm$ 1.33 - 96.00 $\pm$ 2.08 กรัมต่อตัว คำนวณน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยอยู่ที่ 22.33 $\pm$ 6.17, 28.00 $\pm$ 7.23, 33.67 $\pm$ 4.98, 25.33 $\pm$

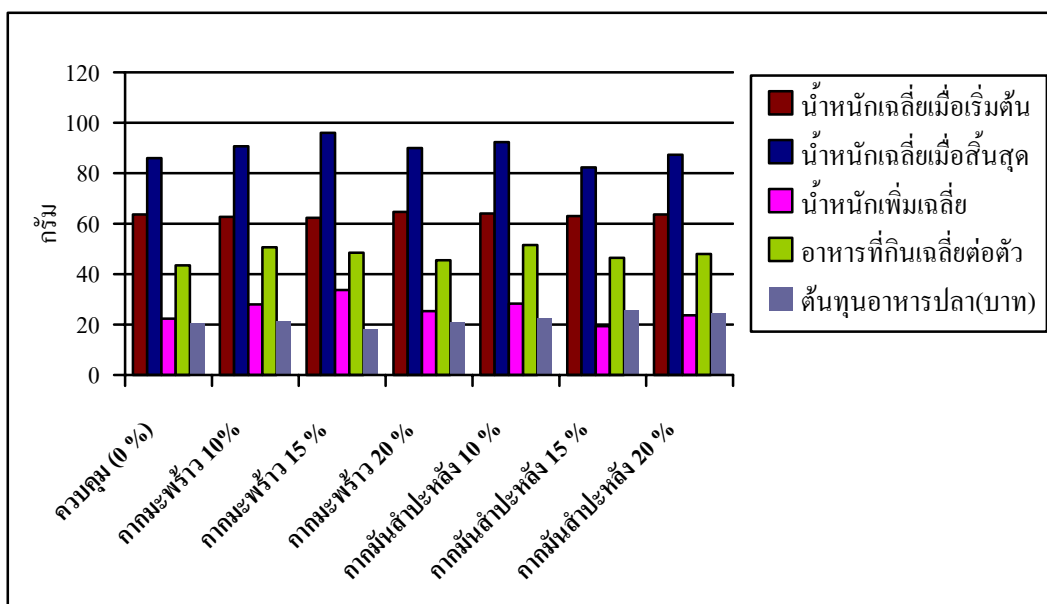
3.18, 28.33 ± 3.38 , 19.33 ± 1.86 และ 23.67 ± 0.67 กรัมต่อตัว ตามลำดับ และน้ำหนักเพิ่มต่อตัวต่อวันอยู่ที่ 0.66 ± 0.18 , 0.83 ± 0.21 , 0.99 ± 0.15 , 0.75 ± 0.09 , 0.84 ± 0.10 , 0.57 ± 0.06 และ 0.70 ± 0.02 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพของอาหาร ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง ที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 1 เดือน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE)

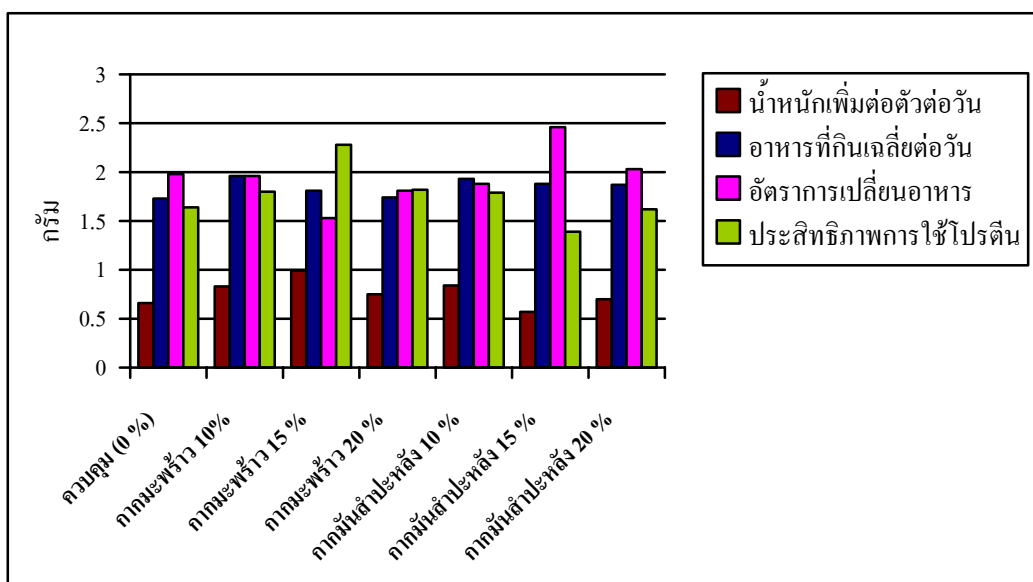
ระดับวัตถุดิบในอาหาร (เปอร์เซ็นต์)	อาหารที่กิน เฉลี่ย (กรัม/ ตัว)	อาหารที่กิน เฉลี่ยต่อวัน (กรัม/ตัว/วัน)	อัตราการ เปลี่ยน อาหาร	ประสิทธิภาพ การใช้โปรตีน	ต้นทุนอาหาร (บาท/ปลา 1 กก.)
ควบคุม (0 %)	43.5 ± 1.04^a	1.70 ± 0.06^a	2.07 ± 0.45^a	1.76 ± 0.47^a	27.53 ± 5.96^a
กากมะพร้าว 10%	50.67 ± 0.67^c	1.96 ± 0.13^a	2.12 ± 0.62^a	1.82 ± 0.47^a	27.59 ± 8.10^a
กากมะพร้าว 15 %	48.5 ± 0.58^{bc}	1.80 ± 0.05^a	1.50 ± 0.20^a	2.27 ± 0.33^a	19.18 ± 2.60^a
กากมะพร้าว 20 %	45.50 ± 0.76^{ab}	1.73 ± 0.06^a	1.86 ± 0.23^a	1.82 ± 0.24^a	23.37 ± 2.96^a
กากมันสำปะหลัง 10 %	51.50 ± 2.02^c	1.93 ± 0.03^a	1.85 ± 0.13^a	1.81 ± 0.14^a	24.72 ± 1.83^a
กากมันสำปะหลัง 15 %	46.13 ± 0.94^{ab}	1.87 ± 0.02^a	2.43 ± 0.24^a	1.39 ± 0.15^a	32.31 ± 3.15^a
กากมันสำปะหลัง 20 %	48.00 ± 1.00^{bc}	1.87 ± 0.05^a	2.03 ± 0.05^a	1.62 ± 0.04^a	26.23 ± 0.66^a
p-value	0.002	0.121	0.615	0.625	0.526

หมายเหตุ a, b, c และ d อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหารเป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่า ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อตัว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย มีค่า 43.5 ± 1.04 , 50.67 ± 0.67 , 48.5 ± 0.58 , 45.50 ± 0.76 , 51.50 ± 2.02 , 46.13 ± 0.94 , 48.00 ± 1.00 กรัม/ตัว แต่ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน อัตราเปลี่ยนอาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และต้นทุนค่าอาหาร ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 10)



ภาพที่ 3 น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้น น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุด น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อตัว และต้นทุนค่าอาหารของปลาคูกลูกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ กันเป็นเวลา 1 เดือน



ภาพที่ 4 น้ำหนักเพิ่มต่อตัวต่อวัน อาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหาร และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาคูกลูกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ กันเป็นเวลา 1 เดือน

ตารางที่ 11 องค์ประกอบเลือดของปลาอุกที่ถูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และ
กากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 1 เดือน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)

ระดับวัตถุดิบในอาหาร (เปอร์เซ็นต์)	ซีโมโกลบิน (กรัม/เดซิลิตร)	ฮีมาโตคริต (เปอร์เซ็นต์)	จำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดง ($\times 10^6$ เซลล์/มิลลิลิตร)
ควบคุม (0 %)	10.13 $\pm$ 1.68 ^a	33.67 $\pm$ 2.52 ^a	2.62 $\pm$ 0.26 ^a
กากมะพร้าว 10%	11.10 $\pm$ 0.56 ^a	35.33 $\pm$ 0.58 ^a	2.91 $\pm$ 0.19 ^a
กากมะพร้าว 15 %	11.45 $\pm$ 1.49 ^a	35.50 $\pm$ 0.71 ^a	2.73 $\pm$ 0.04 ^a
กากมะพร้าว 20 %	11.10 $\pm$ 1.05 ^a	36.00 $\pm$ 3.00 ^a	2.85 $\pm$ 0.22 ^a
กากมันสำปะหลัง 10 %	11.30 $\pm$ 2.19 ^a	37.73 $\pm$ 6.20 ^a	2.58 $\pm$ 0.32 ^a
กากมันสำปะหลัง 15 %	11.87 $\pm$ 0.42 ^a	36.93 $\pm$ 2.53 ^a	2.95 $\pm$ 0.11 ^a
กากมันสำปะหลัง 20 %	10.43 $\pm$ 2.04 ^a	32.33 $\pm$ 3.79 ^a	2.62 $\pm$ 0.49 ^a
p-value	0.824	0.530	0.530

หมายเหตุ a, b, และ c อักษรที่ต่างกันในแนวดังเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

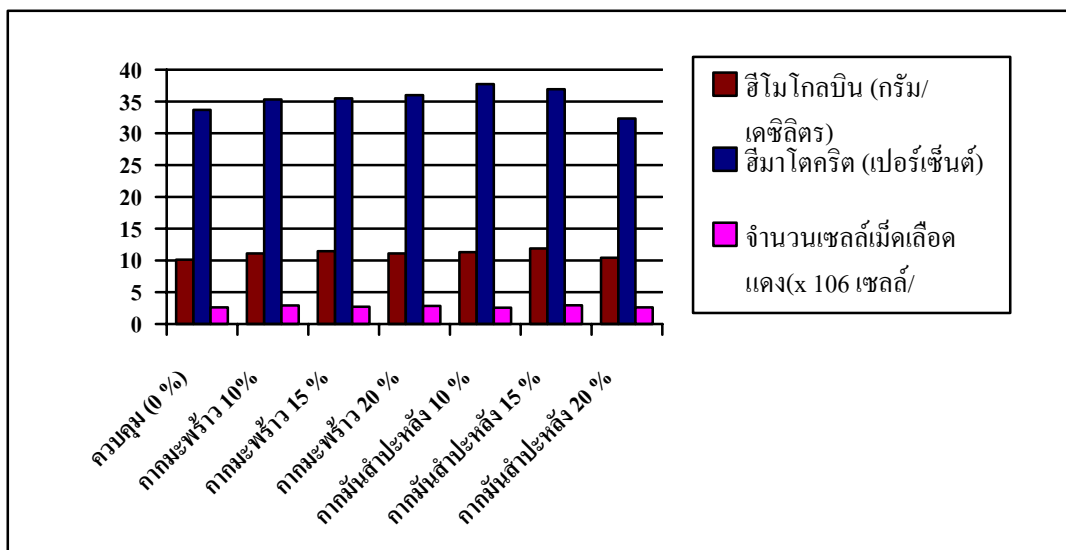
องค์ประกอบของเลือดปลาอุกที่ถูกผสม ที่ได้รับอาหารที่ผสม กากมะพร้าว และกากมัน
สำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ กันเป็นเวลา 1 เดือนนั้น จะมีปริมาณของ ซีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต และ
จำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดง ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยปริมาณซีโมโกลบิน อยู่
ในช่วง 10.13 $\pm$ 1.68 – 11.87 $\pm$ 0.42 กรัม/เดซิลิตร ปริมาณฮีมาโตคริต อยู่ในช่วง 32.33 $\pm$ 3.79 - 37.73 $\pm$
6.20 เปอร์เซ็นต์ และ จำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดงอยู่ในช่วง 2.62 $\pm$ 0.26 - 2.95 $\pm$ 0.11 $\times 10^6$ เซลล์/
มิลลิลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 12 ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในเลือด ไกลโคเจนในตับและกลูโคสในเลือดของปลาดุกอุกผสม
ที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 1 เดือน
(ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)

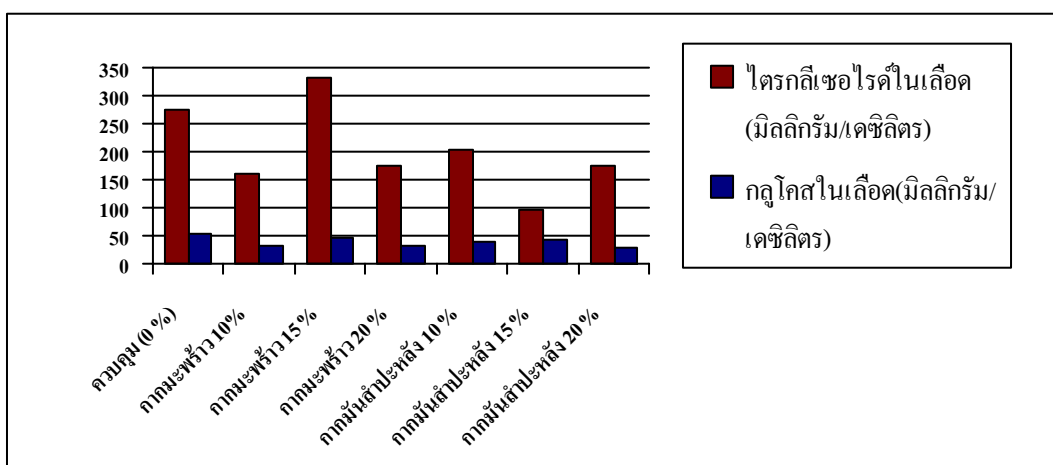
ระดับวัตถุดิบในอาหาร (เปอร์เซ็นต์)	ไตรกลีเซอไรด์ในเลือด (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	กลูโคสในเลือด (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	ไกลโคเจนในตับ (มิลลิกรัม/กรัม)
ควบคุม (0 %)	275.20 $\pm$ 169.19 ^a	53.23 $\pm$ 7.35 ^c	5.30 $\pm$ 4.067 ^a
กากมะพร้าว 10%	161.24 $\pm$ 5.12 ^a	32.35 $\pm$ 1.42 ^{ab}	9.99 $\pm$ 6.10 ^a
กากมะพร้าว 15 %	331.78 $\pm$ 102.50 ^a	45.33 $\pm$ 0.37 ^{bc}	23.33 $\pm$ 21.12 ^a
กากมะพร้าว 20 %	173.39 $\pm$ 19.37 ^a	32.80 $\pm$ 10.56 ^{ab}	15.98 $\pm$ 7.85 ^a
กากมันสำปะหลัง 10 %	202.07 $\pm$ 70.17 ^a	39.13 $\pm$ 2.47 ^{ab}	12.52 $\pm$ 0.29 ^a
กากมันสำปะหลัง 15 %	96.64 $\pm$ 71.62 ^a	43.71 $\pm$ 5.01 ^{bc}	7.32 $\pm$ 2.65 ^a
กากมันสำปะหลัง 20 %	175.45 $\pm$ 4.02 ^a	29.13 $\pm$ 0.18 ^a	5.99 $\pm$ 0.49 ^a
p-value	0.248	0.024	0.237

หมายเหตุ a, b และ c อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

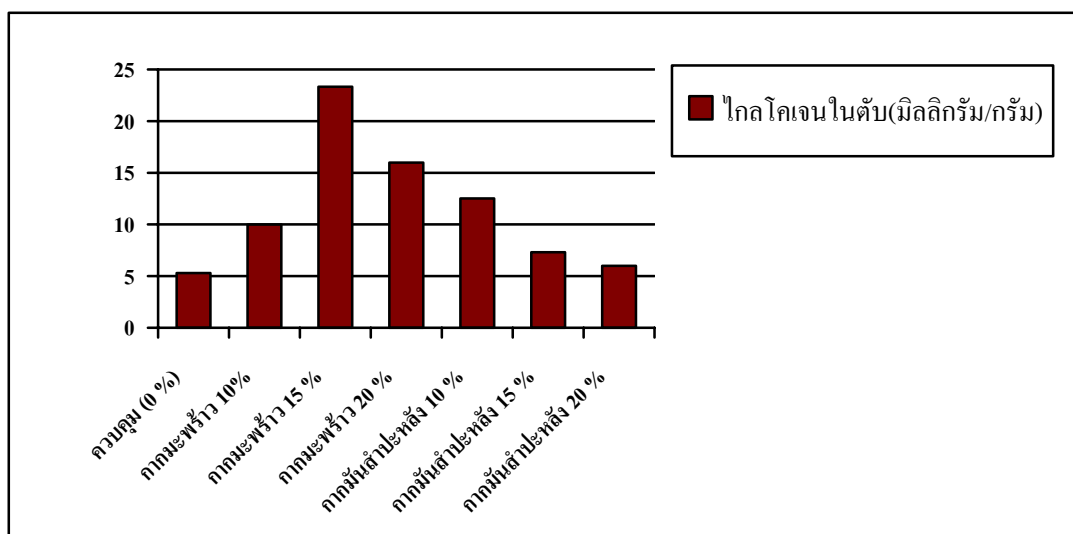
ปลาดุกที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 1 เดือน พบว่าปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในเลือด และปริมาณไกลโคเจนในตับ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติของแต่ละชุดการทดลอง ($p > 0.05$) โดยระดับไตรกลีเซอไรด์ในเลือดอยู่ในช่วง 161.24 $\pm$ 5.12 – 331.78 $\pm$ 102.50 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ปริมาณไกลโคเจนในตับอยู่ในช่วง 5.30 $\pm$ 4.067 – 23.33 $\pm$ 21.12 มิลลิกรัม/กรัม แต่ ปริมาณกลูโคสในเลือดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละชุดการทดลอง ($p < 0.05$) โดยมีค่า 53.23 $\pm$ 7.35, 32.35 $\pm$ 1.42, 45.33 $\pm$ 0.37, 32.80 $\pm$ 10.56, 39.13 $\pm$ 2.47, 43.71 $\pm$ 5.01 และ 29.13 $\pm$ 0.18 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 12)



ภาพที่ 5 องค์ประกอบเลือดของปลาดุกเทศที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 1 เดือน



ภาพที่ 6 ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในเลือด และกลูโคสในเลือดของปลาดุกเทศที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 1 เดือน



ภาพที่ 7 ปริมาณ คอเลสเตอรอลในตับของปลาดุกลูกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมัน
สำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 1 เดือน

การเจริญเติบโตของปลาคูกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 2 เดือน

ตารางที่ 13 น้ำหนักเฉลี่ยของปลาคูกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังในระดับต่างๆเป็นระยะเวลา 2 เดือน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE)

ระดับวัตถุดิบในอาหาร (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนักเฉลี่ย เริ่มทดลอง (กรัม/ตัว)	น้ำหนักเฉลี่ย หลังทดลอง (กรัม/ตัว)	น้ำหนักเพิ่ม เฉลี่ย (กรัม/ตัว)	น้ำหนักเพิ่ม ต่อตัวต่อวัน (กรัม/ตัว/วัน)
ควบคุม (0 %)	63.67 $\pm$ 6.64 ^a	120.00 $\pm$ 5.77 ^{abc}	56.33 $\pm$ 0.88 ^{abc}	0.99 $\pm$ 0.02 ^{abc}
กากมะพร้าว 10%	62.67 $\pm$ 4.10 ^a	121.00 $\pm$ 1.52 ^{bc}	58.33 $\pm$ 4.41 ^{bc}	1.02 $\pm$ 0.08 ^{bc}
กากมะพร้าว 15 %	62.33 $\pm$ 3.53 ^a	127.00 $\pm$ 3.51 ^c	64.67 $\pm$ 4.26 ^c	1.14 $\pm$ 0.07 ^c
กากมะพร้าว 20 %	64.67 $\pm$ 4.33 ^a	116.67 $\pm$ 3.71 ^{abc}	52.00 $\pm$ 2.89 ^{ab}	0.91 $\pm$ 0.05 ^{ab}
กากมันสำปะหลัง 10 %	64.00 $\pm$ 1.00 ^a	120.00 $\pm$ 1.53 ^{abc}	56.00 $\pm$ 1.16 ^{abc}	0.98 $\pm$ 0.02 ^{abc}
กากมันสำปะหลัง 15 %	63.00 $\pm$ 2.65 ^a	110.00 $\pm$ 2.03 ^a	47.00 $\pm$ 2.08 ^a	0.82 $\pm$ 0.04 ^a
กากมันสำปะหลัง 20 %	63.67 $\pm$ 0.67 ^a	111.33 $\pm$ 2.03 ^{ab}	47.67 $\pm$ 2.60 ^a	0.83 $\pm$ 0.04 ^a
p-value	0.999	0.025	0.009	0.008

หมายเหตุ a, b, และ c อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

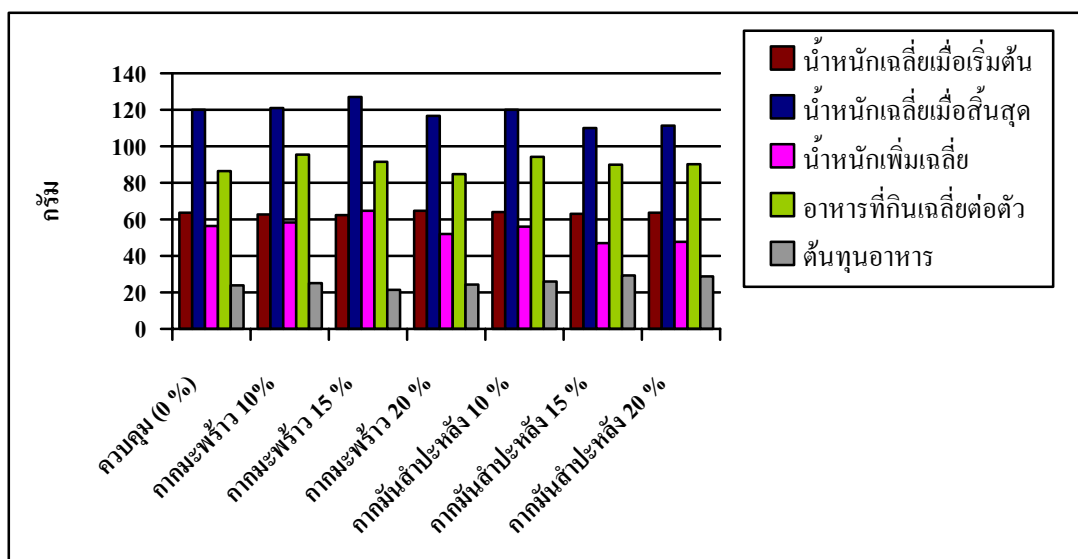
น้ำหนักเฉลี่ยของปลาคูกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าวและกากมันสำปะหลังในระดับต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 2 เดือน พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยหลังทดลอง น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย และน้ำหนักเพิ่มต่อตัวต่อวัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่า 120.00 $\pm$ 5.77, 121.00 $\pm$ 1.52, 127.00 $\pm$ 3.51, 116.67 $\pm$ 3.71, 120.00 $\pm$ 1.53, 110.00 $\pm$ 2.03 และ 111.33 $\pm$ 2.03 กรัม/ตัว ตามลำดับน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ในช่วง 47.00 $\pm$ 2.08 – 64.67 $\pm$ 4.26 กรัม/ตัว และ 0.82 $\pm$ 0.02 – 1.14 $\pm$ 0.07 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 14 ประสิทธิภาพของอาหาร ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง ที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 2 เดือน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE)

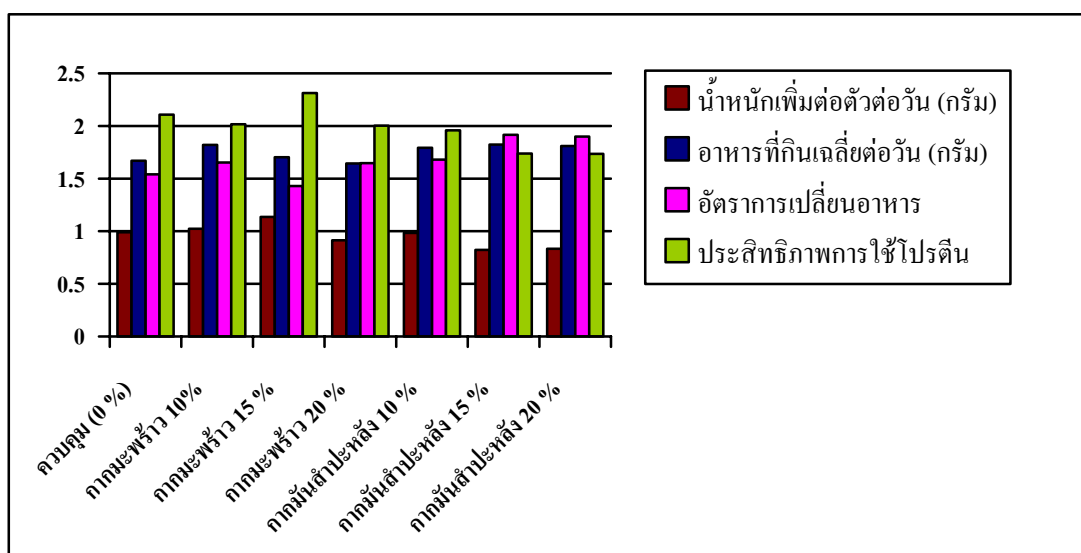
ระดับวัตถุดิบในอาหาร (เปอร์เซ็นต์)	อาหารที่กิน เฉลี่ย (กรัม/ตัว)	อาหารที่กิน เฉลี่ยต่อวัน (กรัม/ตัว/วัน)	อัตราการ เปลี่ยนอาหาร	ประสิทธิภาพ การใช้โปรตีน	ต้นทุนอาหาร (บาท/ปลา 1 กก.)
ควบคุม (0 %)	86.43 $\pm$ 3.43 ^a	1.67 $\pm$ 0.08 ^a	1.54 $\pm$ 0.08 ^a	2.11 $\pm$ 0.10 ^{ab}	20.45 $\pm$ 1.04 ^{ab}
กากมะพร้าว 10%	95.43 $\pm$ 2.32 ^b	1.82 $\pm$ 0.08 ^a	1.65 $\pm$ 0.09 ^{ab}	2.01 $\pm$ 0.11 ^{ab}	21.41 $\pm$ 1.17 ^{abc}
กากมะพร้าว 15 %	91.50 $\pm$ 0.06 ^{ab}	1.70 $\pm$ 0.05 ^a	1.43 $\pm$ 0.09 ^a	2.31 $\pm$ 0.15 ^b	18.23 $\pm$ 1.15 ^a
กากมะพร้าว 20 %	84.73 $\pm$ 0.86 ^a	1.64 $\pm$ 0.07 ^a	1.64 $\pm$ 0.11 ^{ab}	2.00 $\pm$ 0.13 ^{ab}	20.67 $\pm$ 1.36 ^{abc}
กากมันสำปะหลัง 10 %	94.23 $\pm$ 1.59 ^b	1.79 $\pm$ 0.03 ^a	1.68 $\pm$ 0.06 ^{ab}	1.96 $\pm$ 0.06 ^{ab}	22.51 $\pm$ 0.75 ^{bcd}
กากมันสำปะหลัง 15 %	89.90 $\pm$ 3.44 ^{ab}	1.82 $\pm$ 0.04 ^a	1.92 $\pm$ 0.13 ^b	1.74 $\pm$ 0.63 ^a	25.56 $\pm$ 1.75 ^d
กากมันสำปะหลัง 20 %	90.20 $\pm$ 2.00 ^{ab}	1.81 $\pm$ 0.04 ^a	1.90 $\pm$ 0.08 ^b	1.74 $\pm$ 0.13 ^a	24.56 $\pm$ 1.07 ^{cd}
p-value	0.049	0.167	0.021	0.032	0.012

หมายเหตุ a, b, c และ d อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าวและกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 2 เดือน พบว่า อาหารที่กินเฉลี่ย อัตราการเปลี่ยนอาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และต้นทุนค่าอาหารมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปริมาณอาหารที่กินมีค่าเฉลี่ยในช่วง 84.73 $\pm$ 0.86 - 95.43 $\pm$ 2.32 กรัม/ตัว อัตราการเปลี่ยนอาหารอยู่ที่ 1.54 $\pm$ 0.08, 1.65 $\pm$ 0.09, 1.43 $\pm$ 0.09, 1.64 $\pm$ 0.11, 1.68 $\pm$ 0.06, 1.92 $\pm$ 0.13 และ 1.90 $\pm$ 0.08 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน อยู่ในช่วง 1.74 $\pm$ 0.13 – 2.31 $\pm$ 0.15 ต้นทุนค่าอาหารมีค่า 20.45 $\pm$ 1.04, 21.41 $\pm$ 1.17, 18.23 $\pm$ 1.15, 20.67 $\pm$ 1.36, 22.51 $\pm$ 0.75, 25.56 $\pm$ 1.75 และ 24.56 $\pm$ 1.07 บาท/ปลา 1 กิโลกรัม ตามลำดับ แต่ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.64 $\pm$ 0.07 – 1.82 $\pm$ 0.04 กรัม/ตัว/วัน (ตารางที่ 14)



ภาพที่ 8 น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้น น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุด น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย และปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อตัวของปลาคูกลูกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ กันเป็นเวลา 2 เดือน



ภาพที่ 9 น้ำหนักเพิ่มต่อตัวต่อวัน อาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหาร และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาคูกลูกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ กันเป็นเวลา 2 เดือน

ตารางที่ 15 องค์ประกอบเลือดของปลาดุกอุกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมัน
สำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 2 เดือน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)

ระดับวัตถุดิบในอาหาร (เปอร์เซ็นต์)	ซีโมโกลบิน (กรัม/เดซิลิตร)	ฮีมาโตคริต (เปอร์เซ็นต์)	จำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดง ($\times 10^6$ เซลล์/มิลลิลิตร)
ควบคุม (0 %)	10.97 $\pm$ 0.22 ^a	35.33 $\pm$ 0.33 ^a	2.62 $\pm$ 0.05 ^a
กากมะพร้าว 10%	11.00 $\pm$ 0.91 ^a	34.67 $\pm$ 1.45 ^a	2.71 $\pm$ 0.31 ^a
กากมะพร้าว 15 %	13.97 $\pm$ 0.35 ^a	39.67 $\pm$ 1.33 ^a	2.94 $\pm$ 0.23 ^a
กากมะพร้าว 20 %	11.73 $\pm$ 0.57 ^a	36.33 $\pm$ 0.88 ^a	2.81 $\pm$ 0.12 ^a
กากมันสำปะหลัง 10 %	10.47 $\pm$ 0.07 ^a	35.00 $\pm$ 1.15 ^a	2.58 $\pm$ 0.12 ^a
กากมันสำปะหลัง 15 %	10.73 $\pm$ 1.13 ^a	34.33 $\pm$ 2.67 ^a	2.74 $\pm$ 0.39 ^a
กากมันสำปะหลัง 20 %	10.00 $\pm$ 0.38 ^a	32.67 $\pm$ 0.88 ^a	2.59 $\pm$ 0.09 ^a
p-value	0.082	0.087	0.425

หมายเหตุ a, b, และ c อักษรที่ต่างกันในแนวดังเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

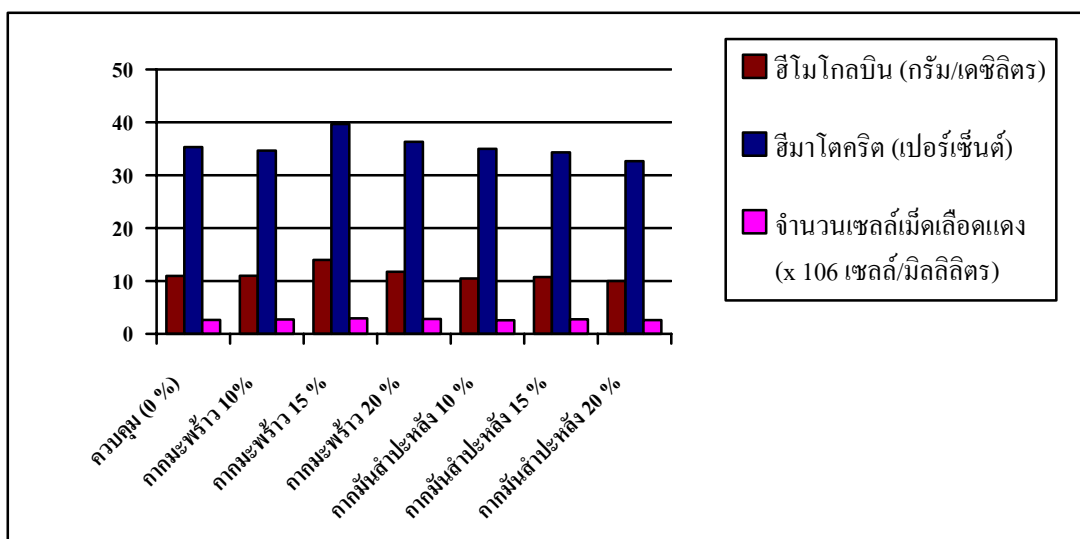
องค์ประกอบของเลือดปลาดุกอุกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมัน
สำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 2 เดือน พบว่าปริมาณ ซีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต และจำนวน
เซลล์เม็ดเลือดแดงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละชุดการทดลอง ($p > 0.05$) โดยปริมาณ
ซีโมโกลบินอยู่ในช่วง 10.00 $\pm$ 0.38 – 13.97 $\pm$ 0.35 กรัม/เดซิลิตร ฮีมาโตคริต อยู่ในช่วง 32.67 $\pm$ 0.88 –
39.67 $\pm$ 1.33 เปอร์เซ็นต์ และจำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดงอยู่ในช่วง 2.58 $\pm$ 0.12 – 2.94 $\pm$ 0.23 $\times 10^6$ เซลล์/
มิลลิลิตร (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 16 ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในเลือด ไกลโคเจนในตับ และกลูโคสในเลือด ของปลาดุก
 ลูกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 2
 เดือน (ค่าเฉลี่ย±SD)

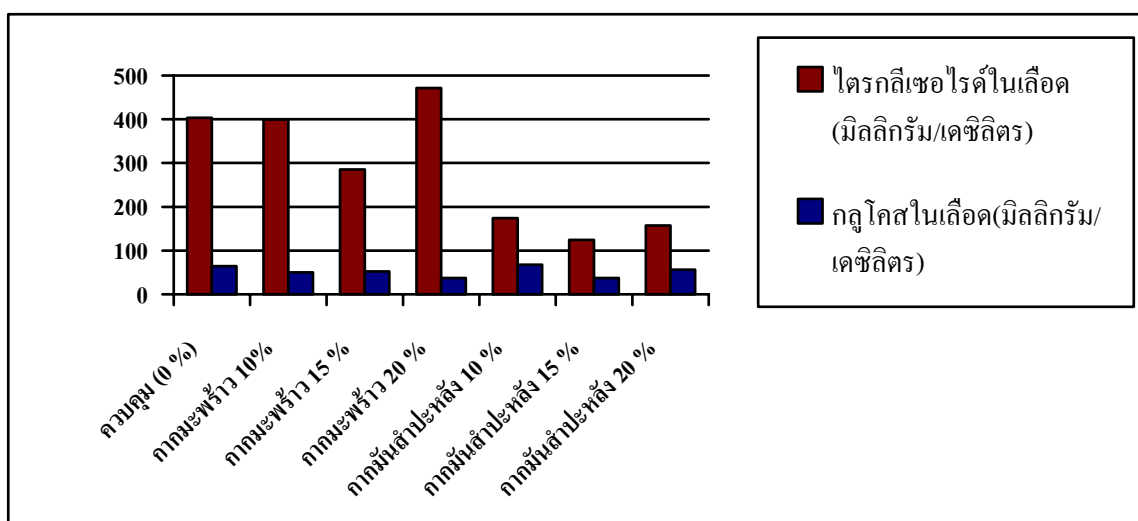
ระดับวัตถุดิบในอาหาร (เปอร์เซ็นต์)	ไตรกลีเซอไรด์ในเลือด (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	กลูโคสในเลือด (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	ไกลโคเจนในตับ (มิลลิกรัม/กรัม)
ควบคุม (0 %)	403.06±184.67 ^b	64.73±16.97 ^a	27.06±0.30 ^a
กากมะพร้าว 10%	399.23±194.49 ^b	49.83±30.03 ^a	37.05±6.38 ^a
กากมะพร้าว 15 %	285.06±123.15 ^{ab}	52.17±14.39 ^a	39.12±1.73 ^a
กากมะพร้าว 20 %	471.07±72.26 ^b	37.38±15.56 ^a	35.46±4.79 ^a
กากมันสำปะหลัง 10 %	174.14±18.17 ^a	67.83±5.97 ^a	35.83±8.31 ^a
กากมันสำปะหลัง 15 %	124.52±25.25 ^a	37.14±5.97 ^a	34.43±7.59 ^a
กากมันสำปะหลัง 20 %	157.28±14.34 ^a	56.33±4.80 ^a	27.52±15.81 ^a
p-value	0.011	0.157	0.444

หมายเหตุ a, b, และ c อักษรที่ต่างกันในแนวนั่งเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทาง
 สถิติ ($p < 0.05$)

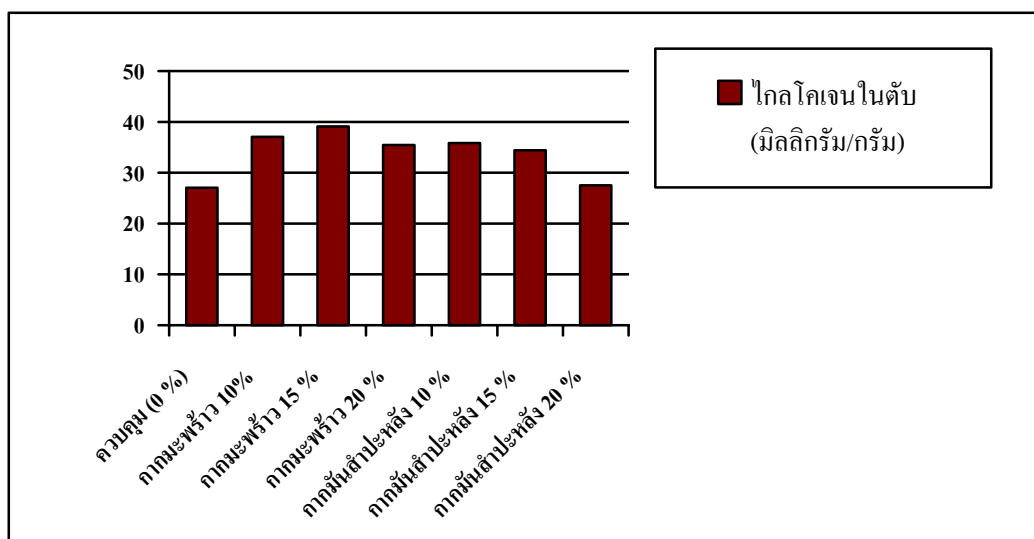
ปลาดุกที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 2
 เดือน พบว่าปริมาณกลูโคสในเลือด และปริมาณไกลโคเจนในตับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
 ($p > 0.05$) โดยระดับกลูโคสในเลือดอยู่ในช่วง 37.14±5.97 – 67.83±5.97 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ปริมาณ
 ไกลโคเจนในตับอยู่ในช่วง 27.06±0.30 – 39.12±1.73 มิลลิกรัม/กรัม แต่ ปริมาณไตรกลีเซอไรด์มี
 ความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่า 403.06±184.67, 399.23±194.49, 285.06±123.15,
 471.07±72.26, 174.14±18.17, 124.52±25.25 และ 157.28±14.34 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ตามลำดับ
 (ตารางที่ 16)



ภาพที่ 10 องค์ประกอบเลือดของปลาดุกกลุ่มที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันถั่วเหลืองที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 2 เดือน



ภาพที่ 11 ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในเลือด และกลูโคสในเลือดของปลาดุกกลุ่มที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันถั่วเหลืองที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 2 เดือน



ภาพที่ 12 ปริมาณ ไกลโคเจนในตับของปลาดุกลูกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมัน
สำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 2 เดือน

การทดลองที่ 3 การศึกษาสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอาหารในปลาคูกลูกผสม

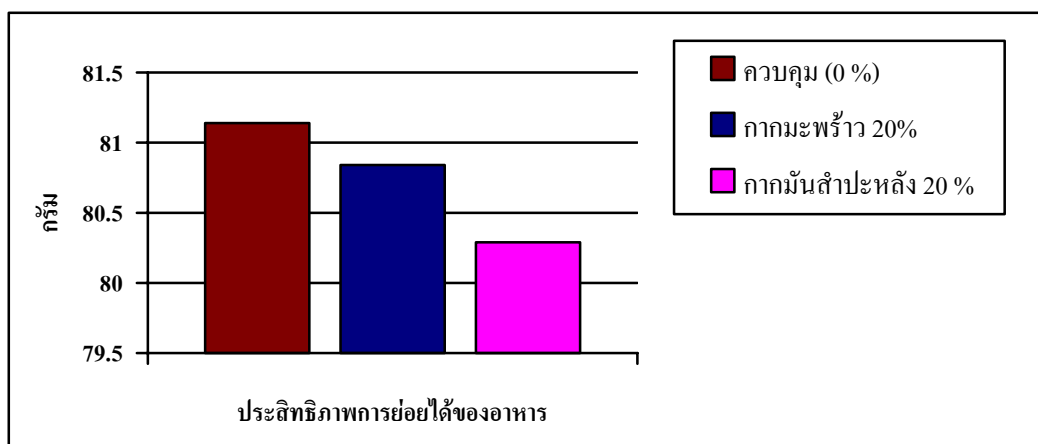
ผลการทดลองสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอาหารในปลาคูกลูกผสม ที่ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 17 สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอาหารของในปลาคูกลูกผสมที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์ (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE)

ระดับในอาหาร (เปอร์เซ็นต์)	สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอาหาร (เปอร์เซ็นต์)
ควบคุม (0 %)	81.14 $\pm$ 4.20 ^a
กากมะพร้าว 20%	80.84 $\pm$ 1.58 ^a
กากมันสำปะหลัง 20 %	80.29 $\pm$ 7.00 ^a
p-value	0.992

หมายเหตุ a, b, และ c อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการศึกษาสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอาหาร(วัตถุแห้ง) ของปลาคูกลูกผสมที่ได้รับอาหารที่ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอาหารไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งในชุดควบคุม ชุดกากมะพร้าว และชุดกากมันสำปะหลัง ($p>0.05$) โดยมีค่า 81.14 $\pm$ 4.20, 80.84 $\pm$ 1.58และ 80.29 $\pm$ 7.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 17)



ภาพที่ 13 ลัมประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารของปลาคูที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์

วิจารณ์ผลการทดลอง

ความคงทนของอาหารเม็ดในน้ำ และการเกิดเจลลิตีในเซชันของอาหารเม็ดที่ผลิตจากเครื่องบดเนื้อ (MINCER)

จากการศึกษาพบว่า ความคงทนในน้ำของอาหารเม็ดที่ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร เป็นเวลา 10 นาที และ 60 นาที มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยความคงทนของอาหารเม็ดในน้ำที่เวลา 10 นาที อยู่ในช่วง 93.17– 97.28 เปอร์เซ็นต์ และที่เวลา 60 นาทีค่าความคงตัวของอาหารอยู่ที่ 84.35– 88.78 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากการในขั้นตอนการผลิตอาหารมีการบดตัววัตถุดิบให้มีความละเอียด เมื่อทำการอัดเม็ดตัวอาหารจะมีการเกาะตัวกันมากขึ้น อีกทั้งในอาหารมีการเติมสารเหนียว 1 เปอร์เซ็นต์ และวัตถุดิบประเภทมันเส้นที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตเมื่อได้รับความร้อนจากการอัดเม็ดจะเกิดการเจลาติไนซ์เปลี่ยนเป็นสารเหนียวที่ช่วยการยึดเหนี่ยวเพิ่มการเกาะตัวของเม็ดอาหารให้มากขึ้น โดยเมื่อวัดการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งโดยใช้การทำงานเอนไซม์ Amyloglucosidase พบว่า เปอร์เซ็นต์ของความสูงของแป้งที่วัดได้ ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ในอาหารทุกชุดการทดลอง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 17.87 - 22.03 เปอร์เซ็นต์

ความคงทนของอาหารในน้ำมีผลต่อการกินอาหารของสัตว์น้ำ เนื่องจาก อาหารที่กึ่งตัวอยู่ในน้ำได้นานจะรักษาคุณสมบัติขวนกินหรือความน่ากินของอาหารได้มากกว่า โดยทั่วไปอาหารปลาควรมีความคงทนในน้ำประมาณ 30- 60 นาที การเพิ่มความคงทนในน้ำของอาหารสามารถทำได้โดยการเติมสารเหนียวสังเคราะห์ (เวียง, 2542) ในการศึกษาครั้งนี้มีการเติมสารเหนียวประเภท แอลฟา-สตาร์ท 1 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร ซึ่งชนิดของสารเหนียวก็มีผลต่อความคงทนของอาหาร Ruscoe และคณะ (2005) ทดลองใช้สารเหนียว ประเภท agar, gelatine, carrageenan และ carboxymethylcellulose (CMC) ที่ระดับ 3- 5 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารกึ่ง พบว่า ความคงทนของอาหารในน้ำ ที่ใช้ carrageenan และ CMC จะให้ผลดีกว่าที่ใช้ agar และ gelatin เป็นสารเหนียว

การเจริญเติบโตของปลาดุกลูกผสม

การศึกษาการเจริญเติบโตของปลาดุกลูกผสมเมื่อได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง ที่ระดับ 0, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่า 1 เดือน หลังจากได้รับอาหารแล้วการเจริญเติบโตของปลาดุกลูกผสม ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่เมื่อปลาดุกลูกผสมได้รับอาหารเป็นเวลา 2 เดือน น้ำหนักเฉลี่ยหลังทดลอง น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย และ น้ำหนักเพิ่มต่อตัวต่อวัน ของปลาดุกลูกผสมมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหาร ผสมกากมะพร้าว 15 เปอร์เซ็นต์ จะมีการเจริญเติบโตดีที่สุด ($p < 0.05$) เนื่องจากว่า กากมะพร้าวที่ได้จากกระบวนการคั้นกะทิ มีปริมาณ ของโปรตีนน้อยกว่ากากมะพร้าวประเภทสกัดน้ำมัน แต่มีปริมาณของน้ำมันอยู่สูงกว่า (โปรตีน 5 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 18 เปอร์เซ็นต์) โดยไขมันจะเป็นประเภทอิ่มตัวโมเลกุลขนาดกลาง คือพวก lauric (12:0) อยู่ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และ myristic (14:0) ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ จากรายงานกรดไขมันไม่อิ่มตัวสามารถรวมตัวกับน้ำดี และช่วยละลายกรดไขมันอิ่มตัวให้ถูกดูดซึมมากขึ้น (ศรีสกุล และ รณชัย, 2539) ในการทดลองจึงมีการเสริมน้ำมันปลา และน้ำมันถั่วเหลืองในสูตร 2-4 เปอร์เซ็นต์ซึ่งในน้ำมันดังกล่าวจะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นจำนวนมาก สามารถเพิ่มการดูดซึมกรดไขมันอิ่มตัวที่ได้จากกากมะพร้าว แต่เมื่อเพิ่มระดับของกากมะพร้าวในอาหารเพิ่มขึ้น เป็น 20 เปอร์เซ็นต์ ปลาจะมีการเจริญเติบโตลดลง เนื่องจากการดูดซึมสารอาหารและประสิทธิภาพในการใช้โปรตีน จะถูกขัดขวางโดยเยื่อใยที่อยู่ในอาหาร โดยเยื่อใยของกากมะพร้าวส่วนใหญ่ จะเป็น NDF (เซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน) ประมาณ 53 เปอร์เซ็นต์ และเป็น ADF (เซลลูโลส และ ลิกนิน) ประมาณ 27 เปอร์เซ็นต์ สาโรช (2531) รายงานว่าการใช้กากมะพร้าวคั้นสด ที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ในอาหารสุกรรุ่นและสุกรขุน ไม่ก่อให้เกิดผลลบต่อการเจริญเติบโตของสุกร แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกากมะพร้าวเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้การเจริญเติบโตของสุกรลดลงอย่างมีนัยสำคัญ สุริยา (2533) สรุปการทดลองว่าการเลี้ยง สุกรรุ่น – ขุน สามารถใช้อาหารผสมกากมะพร้าว 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารได้เป็นอย่างดี โดยใช้เพียงอย่างเดียว หรือ ผสมกับใบกระถิน ที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยทำให้มีอัตราการเจริญเติบโต และ ประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ในส่วนปลาดุกลูกผสม ที่กินอาหารผสมกากมันสำปะหลังพบว่า การเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างกับอาหารชุดควบคุม แต่ต่างกับปลาที่กินกากมะพร้าวที่ระดับ 10-15 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้วิเคราะห์องค์ประกอบของกากมันสำปะหลังพบว่า มีส่วนของโปรตีนที่ 1.14 เปอร์เซ็นต์ แป้งอยู่ประมาณ 63 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณเยื่อใยอยู่ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใยอาหารแม้จะช่วยควบคุมอัตราการเดินทางของอาหารในระบบทางเดินอาหารแต่ก็เป็นตัวที่ขัดขวางการดูด

ซึมโภชนะของสัตว์ และด้วยระดับของโภชนะในวัตถุดิบที่มีน้อยกว่าในกากมะพร้าว ดังนั้น ระดับการใช้ในอาหารจึงมีข้อจำกัดมากกว่า

การใช้ประโยชน์ของอาหารในปลาดุกลูกผสม

จากการศึกษาการใช้ประโยชน์ของอาหารในปลาดุกลูกผสมพบว่า ในเดือนที่ 1 ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารและ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ของปลาดุกลูกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่ในเดือนที่ 2 อัตราการเปลี่ยนอาหาร และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ของปลาดุกลูกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว 15 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างกับอาหารที่ผสมกากมันสำปะหลัง 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) แต่ก็ไม่ได้แตกต่างจากอาหารในชุดควบคุม ในกากมะพร้าวถึงจะมีปริมาณโปรตีนมากกว่าในกากมันสำปะหลัง แต่ก็ขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นหลายชนิด เช่น ไลซีน เมทไธโอนีน ทรีโตนิน และทรีโอนีน ส่วนกรดอะมิโนที่จำเป็นที่มีมากคือ อาร์จินีน (สุริยา, 2533) จากการศึกษาของ Thorne *et al.* (1992) พบว่า ในอาหารสุกรที่ผสมกากมะพร้าวถึง 30 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการปรับระดับสมดุลของกรดอะมิโนที่จำเป็นในอาหาร แม้จะมีผลต่อการกินอาหารของสุกร แต่ก็ไม่ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหาร และคุณภาพซากของสุกร ในส่วนของปริมาณอาหารที่กินต่อวันของปลาดุกลูกผสมทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ นฤมล (2539) ที่ใช้เกล็ดปลาและเซลลูโลสที่ระดับ 3- 12 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งเชื้อใยในอาหารปลาดุกลูกผสมขนาดเล็กและขนาดกลาง (2.5 – 50 กรัม) พบว่าอัตราการกินอาหารของปลาไม่มีความแตกต่างกันแสดงว่าระดับเชื้อใยในอาหารไม่มีผลต่อการกินอาหารของปลาดุกลูกผสม แต่การทดลองของ Hilton *et al.* (1983) ทดลองในปลาเรนโบว์เทราท์ พบว่าปลากินอาหารมากขึ้นเมื่อระดับใยอาหารเพิ่มสูงขึ้นเพื่อชดเชยสารอาหารที่ถูกเจือจาง แต่ใยอาหารในอาหารนั้นอยู่ระดับที่สูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์

ประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหาร

ประสิทธิภาพการย่อยได้อาหารของปลาดุกลูกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าว และ กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 และ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ไม่มีความแตกต่าง ($p>0.05$) โดยประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารอยู่ในช่วง 81.14 – 80.29 เปอร์เซ็นต์ เชื้อใยในตัวอาหาร แม้จะเป็นส่วนที่ย่อยไม่ได้ แต่จะช่วยควบคุมการเคลื่อนที่ของอาหารในท่อนำอาหารให้ช้าลง ทำให้อาหารสัมผัสกับเอนไซม์นานขึ้น และส่งผลให้อาหารถูกย่อยได้มากขึ้นซึ่งมีการใช้หลักการนี้ไปเพิ่มประสิทธิภาพการ

ย่อยของอาหาร (วีระพงษ์, 2536) โดยปกติสัตว์น้ำจะมีความสามารถในการย่อยโปรตีนในวัตถุดิบอาหารได้ 31 – 99 เปอร์เซ็นต์ ย่อยไขมันได้ 76 – 100 เปอร์เซ็นต์ ย่อยคาร์โบไฮเดรตได้ 6 – 92 เปอร์เซ็นต์ ย่อยเถ้าได้ 68 – 94 เปอร์เซ็นต์ ย่อยพลังงานได้ 77 – 95 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการย่อยอาหารมีค่า 64 – 91 เปอร์เซ็นต์ (เวียง, 2543) ซึ่งความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพการย่อยเกิดจากปัจจัยหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็น ตัวสัตว์น้ำ อาหาร สิ่งแวดล้อม เป็นต้น

สุขภาพของปลาดุกลูกผสม

ผลของอาหารที่ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง ต่อสุขภาพของปลาดุกลูกผสมนั้น พบว่าปริมาณของฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต และปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารแต่ละชุดการทดลองในเดือนที่ 1 และ 2 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยระดับของฮีมาโตคริตคืออัตราส่วนของเม็ดเลือดแดงต่อปริมาณเลือดทั้งหมด จะเป็นตัวบ่งถึงลักษณะสุขภาพของปลาได้ ถ้าปลามีระดับฮีมาโตคริตต่ำแสดงว่าเป็นโรคโลหิตจาง ซึ่งอาจเกิดจากการขาดสารอาหาร ถ้าปริมาณสูง แสดงว่าปลาเกิดความเครียด (Wedemeyer and Yasatake, 1977) ระดับของฮีมาโตคริตในปลาดุกลูกผสมอยู่ที่ช่วง 32.33 – 37.73 เปอร์เซ็นต์ ฮีโมโกลบิน 10.13-11.87 เปอร์เซ็นต์ และ จำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดงที่ $2.58-2.95 \times 10^6$ เซลล์/มิลลิลิตร สงศรี (2524) รายงานว่าค่าฮีมาโตคริตของปลาดุกด้านอยู่ในช่วง 34.0-42.2 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด และเพศของปลา รุ่งทิพย์ (2542) รายงานว่า ปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารที่เสริม และไม่เสริมวิตามิน แร่ธาตุ โดยการเลี้ยงแบบสลับวัน มีค่าฮีมาโตคริตไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 33.33 – 38.88 เปอร์เซ็นต์ และปลาดุกลูกผสมระยะเล็กที่ได้รับอาหารคั่วไก่ไหมทอดแทนปลาป่นที่ระดับต่างๆ มีค่าฮีมาโตคริตอยู่ระหว่าง 26.33 – 31.66 เปอร์เซ็นต์ และปลาดุกลูกผสมขนาดตลาดมีค่าฮีมาโตคริตอยู่ในช่วง 27.66 – 38.33 เปอร์เซ็นต์ (ทัศนีย์, 2546) Bouck and Ball (1966) รายงานว่า จะมีความแปรปรวนของฮีมาโตคริตในเลือดปลาประมาณ 20-35 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น การใช้กากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 – 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร จะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับของเม็ดเลือดแดงในปลาดุกลูกผสม

ไตรกลีเซอไรด์คือไขมันในเลือดที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในเลือดของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าวและกากมันสำปะหลัง พบว่าในเดือนที่ 1 ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่เมื่อถึงเดือนที่ 2 ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมันสำปะหลังที่ระดับ 10- 20 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าน้อยที่สุด และแตกต่างจากอาหารชุด

ควบคุม แต่ก็ไม่ได้แตกต่างกับอาหารที่ผสมกากมะพร้าว 15 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในอาหารผสมกากมันสำปะหลัง แหล่งของพลังงานจะมาจากคาร์โบไฮเดรตโดยจะอยู่ในรูปของแป้งและใยอาหาร ซึ่งปกติร่างกายของสัตว์น้ำจะใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต ประเภทแป้ง และน้ำตาล ในกรณีที่คาร์โบไฮเดรตไม่เพียงพอ หรือไม่สามารถใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นพลังงานได้ ร่างกายจะใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานแทน (เวียง, 2542) ทำให้ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในเลือดลดลงได้ ปริมาณกลูโคสในเลือดของปลาดุกผสมในเดือนที่ 1 พบว่าปลาดุกผสมที่กินอาหารผสมกากมะพร้าวและ กากมันสำปะหลัง ที่ระดับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ จะมีปริมาณกลูโคสในเลือดน้อยกว่าในชุดควบคุม ($p < 0.05$) ส่วนในเดือนที่ 2 ไม่มีความแตกต่างกัน กลูโคสในเลือดได้จากกระบวนการย่อยแป้งและคาร์โบไฮเดรต ถ้าไม่ถูกใช้โดยตรงก็จะถูกเซลล์ตับแปรรูปไปเป็นน้ำตาลกลูโคสเพื่อส่งไปเลี้ยงเซลล์ต่าง ๆ ทางระบบเลือด การที่ปริมาณกลูโคสในเลือดไม่แตกต่างกัน แสดงว่าปลาดุกผสมสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารให้เป็นกลูโคสได้ใกล้เคียงกัน โดยคาร์โบไฮเดรตในอาหารได้จากแป้ง สัตว์น้ำไม่นิยมใช้น้ำตาลเป็นอาหาร เนื่องจากโมเลกุลของน้ำตาลมีขนาดเล็ก และถูกดูดซึมเข้ากระแสเลือดได้ทันที ประกอบกับการทำงานของฮอร์โมนอินซูลินที่ทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดในสัตว์น้ำมีประสิทธิภาพต่ำ น้ำตาลในเลือดที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์เป็นพลังงานภายในเซลล์จะถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ ทำให้สัตว์ได้รับพลังงานจากน้ำตาลน้อยกว่าปกติ และเมื่อเกิดการเจริญเติบโต ตรงข้ามกับแป้งซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่ จำต้องผ่านการย่อยให้มีขนาดเล็กลงหลายขั้นตอนก่อนการดูดซึม (เวียง, 2542) ในอาหารที่มีปริมาณของเยื่อใย จะมีการย่อยและดูดซึมกลูโคสจะเป็นไปอย่างช้า ๆ เนื่องจากอาหารจะมีความหนืด (viscosity) มากขึ้นทำให้เคลื่อนที่ช้าลงปลาจึงค่อย ๆ ดูดซึมน้ำตาลอย่างช้า ๆ ทำให้ปริมาณน้ำตาลในเลือดไม่สูงมากนัก (วีรพงศ์, 2536) ปริมาณไกลโคเจนในตับของปลาดุกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และ กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ทั้งในเดือนที่ 1 และ 2 ไกลโคเจนเกิดจากการที่ตับสะสมกรดอะมิโนและ กลูโคสที่เหลือใช้ ไกลโคเจนจะเป็นแหล่งพลังงานสำรองของร่างกาย โดยเมื่อร่างกายขาดแคลนพลังงานก็จะสลายมาเป็นแหล่งพลังงานแทน ในอาหารทุกชุดการทดลอง มีการย่อยและดูดซึม โภชนะได้ใกล้เคียงกันดังนั้น การสะสมของไกลโคเจนในตับจึงมีค่าไม่แตกต่างกันในแต่ละชุดการทดลอง

สรุป

ผลจากการใช้กากมะพร้าวและกากมันสำปะหลังในอาหารที่ระดับ 0, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ต่อลักษณะความคงทนของอาหารในน้ำ การเกิดเจลาตินัส การเจริญเติบโต การย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ของอาหารในปลาดุกลูกผสม (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*) สรุปได้ว่า

1. ความคงทนของอาหารเม็ดในน้ำ และการเกิดเจลาตินัสหรือความสุกของแป้ง ของอาหารปลาดุกลูกผสมที่ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง ที่ระดับ 0, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยอัดเม็ดผ่านเครื่องบดแบบเกลียวอัด (MINCER) ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 55.17 องศาเซลเซียส ความชื้นที่ 34.82 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) ความคงทนของอาหารเม็ดในน้ำที่เวลา 10 นาที และ 60 นาที อยู่ในช่วง 93.17– 97.28 เปอร์เซ็นต์ และ 84.35– 88.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลาตินัสอยู่ในช่วง 17.87 - 22.03 เปอร์เซ็นต์

2. การเจริญเติบโตของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าวและกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ในด้านน้ำหนักเฉลี่ย น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย น้ำหนักเพิ่มต่อตัวต่อวัน ในช่วงเดือนแรกไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่ในเดือนที่ 2 ปลาที่กินอาหารผสมกากมะพร้าวที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการเจริญเติบโต ในด้านน้ำหนักเฉลี่ย น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย และน้ำหนักเพิ่มต่อตัวต่อวันดีที่สุด ($p<0.05$) ส่วนอาหารที่ผสมกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับชุดควบคุมที่ได้รับอาหาร 0 เปอร์เซ็นต์กากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง

3. ประสิทธิภาพของอาหารของปลาที่ผสมกากมะพร้าวและกากมันสำปะหลัง ในด้านของปริมาณการกิน อัตราการเปลี่ยนอาหาร และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน มีค่าไม่แตกต่างกันในเดือนที่ 1 ($p>0.05$) ในเดือนที่ 2 อัตราการเปลี่ยนอาหาร และต้นทุนค่าอาหารของอาหารที่ผสมกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ขณะที่อาหารที่ผสมกากมะพร้าว 15 เปอร์เซ็นต์ จะมีอัตราการเปลี่ยนอาหาร และต้นทุนค่าอาหารต่ำกว่าชุดควบคุม ($p<0.05$)

4. สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอาหาร(วัตถุแห้ง) ของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารที่ผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง 0-20 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 80.29 -81.14 เปอร์เซ็นต์

5. ค่าทางโลหิตวิทยา ได้แก่ จำนวนเม็ดเซลล์เม็ดเลือดแดง (RBC), ค่าฮีโมโกลบิน (HGB) และค่าฮีมาโตคริต (HCT) ของปลาดุกที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 – 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 1 และ 2 เดือน ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$)

6. ระดับไตรกลีเซอไรด์ในเลือดของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง ในช่วง 1 เดือนไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่ในเดือนที่ 2 ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในเลือดของปลาดุกที่ได้รับอาหารผสมกากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 – 20 เปอร์เซ็นต์มีค่าต่ำกว่าชุดอื่น ๆ ($p<0.05$)

7. ระดับน้ำตาลในเลือดของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารผสมกากมันสำปะหลังและกากมะพร้าวในช่วง 1 เดือนแรก มีปริมาณต่ำกว่าในปลาชุดควบคุม โดยปลาดุกที่ได้รับอาหารชุดควบคุมมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงสุดมีค่า 53.23 มิลลิกรัม/เดซิลิตร แต่ในเดือนที่ 2 ปริมาณน้ำตาลในเลือดมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

8. ปริมาณไกลโคเจนในตับของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารชุดควบคุม อาหารผสมกากมะพร้าว และกากมันสำปะหลัง ที่ระดับ 0-20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 และ 2 เดือน มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมประมง. 2522. ปลาที่เพาะเลี้ยงง่ายตามโครงการบำรุงพันธุ์ปลา แบบประชาอาสา. กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

เกลื้อวัลย์ อิตตะวิริยะสุข. 2535. การศึกษาปริมาณแกลบ รำ และน้ำมันรำ ในข้าวไทยพันธุ์ต่าง ๆ, น. 3-4. ใน การประชุมวิชาการปี 2536. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, สถาบันวิจัยข้าว, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ทรงศักดิ์ วัฒนชัยเสรีกุล. 2543. อาหารสัตว์จากกากมันสำปะหลังหมัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทัศนีย์ คชสีห์. 2546. การใช้ดักแด้หมบ้านเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารปลาดุกลูกผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นฤมล ต้วพานิช. 2539. ผลของระดับใยอาหารต่อการใช้ประโยชน์โภชนาและการเจริญเติบโตของ ปลาดุกลูกผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประภาศรี ภูวเสถียร. 2532. ใยอาหารและไฟเตทกับโภชนาการ: ชนิดและคุณสมบัติของใยอาหาร และแหล่งอาหาร. น. 71-72. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการโภชนาการ 32 เรื่อง ก้าวไป กับโภชนาการเพื่อสุขภาพ วันที่ 13-15 ธันวาคม พ.ศ. 2532.

ประเสริฐ สีตะสิทธิ์, มะลิ บุญยรัตผลิน และ นันทิยา อุ่นประเสริฐ. 2525. อาหารปลา. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง, กรุงเทพฯ.

มะลิ บุญยรัตผลิน. 2530. อาหารปลาดุก. วารสารเกษตรกรวันนี้ 6(69): 47-52.

มานพ ตั้งตรงไพโรจน์, สุจินต์ หนูขวัญ, ปกรณ์ อุ่นประเสริฐ และ กำชัย ลาวัลย์วุฒิ. 2533. การเพาะเลี้ยงปลาอุกบิกอูยโดยวิธีผสมเทียม. เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เรื่องบิกอูยปลาเศรษฐกิจใหม่. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

รุ่งทิพย์ แถบสิงห์. 2542. การศึกษาการเจริญเติบโต สุขภาพของปลาอุกผสมที่รับประทานอาหารที่เสริมและไม่เสริม วิตามิน แร่ธาตุโดยการเลี้ยงแบบสลับวัน เพื่อเป็นแนวทางในการลดต้นทุนการเลี้ยงปลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วราภรณ์ แจ่มสุทธีรวัดน์. 2536. ระดับของการโบไฮเดรตที่เหมาะสมในอาหารสำหรับการอนุบาลลูกปลาอุกอูย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิมล จันทโรทัย. 2537. อาหารและการให้อาหารสัตว์น้ำ สาระสำคัญโดยสรุป. เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 25. สถาบันวิจัยประมงน้ำจืด, กรมประมง.

วิเศษ อัครวิทยกุล. 2536. ปลาอุกบิกอูย. โครงการหนังสือเกษตรชุมชน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วีระพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย และ Wee, Kok Loeang. 2532. การทดแทนโปรตีนด้วยคาร์โบไฮเดรตในอาหารปลานิลแดง, น. 381-393. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 27. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วีระพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2536. อาหารปลา. ภาควิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.

เวียง เชื้อโพธิ์หัก. 2542. โภชนศาสตร์สัตว์น้ำและการให้อาหารสัตว์น้ำ. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศรีสกุล วรจันทรา และธณชัย ลิทธิไกรพงษ์. 2539. โภชนศาสตร์สัตว์. โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮาส์, กรุงเทพฯ.

สุริยา แก้วทอง. 2533. การใช้ใบกระถินและกากมะพร้าวเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสุกรรุ่น-ขุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สาวิตร ตระกูลนำเลื่อมใส. 2530. การเลี้ยงเชื้อ *Rhodopseudomonas gelatinosa* จากกากมันสำปะหลัง เพื่อเป็นอาหารปลาและการเพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยง และคุณค่าทางโภชนาการ โดยเลี้ยงผสมกับเชื้อ *Rhodopseudomonas sphaeroides* P47. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สาโรช คำเจริญ. 2531. การทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยกากมะพร้าวคั้นสดในอาหารสุกรเนื้อ: การศึกษาเบื้องต้น น. 94-103 ใน รายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการ ณ จ.เชียงราย 25-27 พฤษภาคม 2531 โครงการอาหารสัตว์ ไทย-เยอรมัน, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สาโรช คำเจริญ. 2542. อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

หฤทัย ศิริวงษ์. 2547. การเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับประจุโลหะของกากมันสำปะหลังโดยการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์รีฟิเคชันกับกรดซิตริก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนันต์ชัย เชื้อนธรรม. 2539. หลักการวางแผนการทดลอง. ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อุทธร ฤทธิลิก. 2529. ชุมทางเกษตร ฉบับ การเลี้ยงปลา. อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

อุทัย กันโธ. 2529. อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกร และสัตว์ปีก. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อุทัยรัตน์ ณ นคร. 2533. การเจริญพัฒนาของไข่ปลาอุกและปัญหาพ่อแม่พันธุ์. เอกสารประกอบการบรรยายในการประชุม. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

อุทัยรัตน์ ณ นคร. 2538. การเพาะขยายพันธุ์ปลา. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, คณะประมง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อำนาจ โชติญาณวงศ์. 2525. อาหารปลา. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____ และ เวียง เชื้อโพธิ์หัก. 2525. ความต้องการโปรตีนของปลาคูค้ำ. วารสาร
การประมง 35 (3):251-260.

AACC. 1971. **Cereal laboratory methods**. Method 22-15. Am. Assoc. Cereal Chem., St. Paul,
MN.

AOAC. 2000. **Official Method of Analysis of the Association of Official Analysis Chemists**.
17th ed. Vol 1, Association of official Analytical Chemists.

Atwell, W.A. , L.F. Hood, D.R. Lineback, E. Varriano-Marston and H.E. Zobel. 1988. The
Terminology and Methodology Associated with Basic Starch Phenomena. **Cereal Foods
World** 33: 306-311.

Anderson, J. , A.J. Jackson, A.J.Matty and B.S.Capper. 1984. Effects of dietary carbohydrate
and Fiber on the tilapia (*Oreochromis niloticus* Linn.). **Aquaculture** 37:303-314.

Bingham, S.T.H. , Cumming and N.I. McNeil. 1979. Intake and sources of dietary fiber in the
British population. **J. Amer. Diet. Ass** 32: 1313-1319.

Bouck, G.R and R.C. Ball. 1966. Influence of capture methods on blood characteristics and
mortality In the rainbow trout (*Salmon geirdneri*). **Trans. Am. Fish. Soc.** 95: 170 – 176

Bromley, P.J. and T.C. Adkins. 1984. The Influence of Cellulose Filler on Feeding, Growth and
Utilization of Protein and Energy in Rainbow trout, *Salmo gairdnerii* Richardson. **J.
Fish. Biol.** 24:235-244.

Child, R. 1974. **Coconuts**. 2nd Ed. Longman Group Ltd., London.

Claus, L. 1984. Dietary fibers in human nutrition: an overview, pp. 468-471, *In* **Human Nutrition Better Life**. Aksornmai Press, Thailand.

Davies, S.J. 1985. The Role of Dietary Fiber in Fish Nutrition. *In* **Recent Advance in Aquaculture** 2: 219-249.

FAO/UNDP. 1980. **Fish Feed Technology**. FAO/UNDP Trining Course at Uni. Of Washington.

Furugawa, A. and H. Tsukahara. 1966. The Acid Digestion Method for the Determination of Chromix Oxide as an Index Substance in the Study of Digestibility in Fish Feed. **Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.** 32: 502-506.

Furuichi, M. and Y. Yone. 1981. Change of Blood Sugar and Plasma Insulin Levels of Fishes in Glucose Tolerance Test. **Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.** 47: 761-764.

Goering, K.J., D.H. Fritts and K.G. Allen. 1974. A Comparison of Loss of Birefringence with the Percent Gelatinization and Viscosity on Potato, Wheat, Rice, Corn, Cow Cockle and Several Barley Starches. **Cereal Chem.** 51: 764-771.

Grace, M. R. 1977. **Cassava Processing**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Halver, J.E. 1989. **Fish Nutrition**. 2nd Ed., Academic Press, New York.

Hasting, W.H. and L.M. Dickie. 1972. Feed formulation and evaluation, pp. 327-370. *In* J.E. Halver, ed. **Fish Nutrition**. 1st, Academic Press, New York.

- Hasting, W.H. and D. Higgs. 1980. Feed milling process, pp. 293-313. *In* FAO. **Fish feed Technology**. Lectures Presented at FAO/UNDP Training Course at University of Washington, Seattle, October 9-15 December 1978.
- Heaton, K.W. 1983. Dietary Fiber in Perspective. **Hum. Nutr. Clin. Nutr.** 37: 157-170.
- Hilton, J.W., C.Y. Cho and S.J. Slinger. 1983. Effect of increased dietary fiber on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** 40: 81-85.
- Jenkins, D.J.A., A.R. Leeds, B. Slavin, J. Mann and E.M. Jepson. 1979. Dietary Fiber and Blood Lipids: Reduction of Serum Cholesterol in Type II Hyperlipid by Guar Gum. **Amer. J. Clin. Nutr.** 32: 16-18
- Jenkins, D.J.A. 1988. Carbohydrate, pp. 52-71. *In* **Modern Nutrition in Health and Disease**. Lea&Febizer, Philadelphia.
- Kravse and Mahan. 1984. **Food Nutrition**. 7th ed., W.B. Sauneres Company, U.S.A. 1010 p.
- Lanza, E. and P.R. Butrum. 1986. A critical review of food fiber analysis and data. **J. Amer. Diet. Ass.** 86: 732-740.
- Leach, H.W. 1965. Gelatinization of starch, pp. 159-173. *In* R.L. Whistler and E.F. Paschall (eds.) **Starch Chemistry and Technology**. Academic press, New York.
- Leary, D.F. and R.T. Lovell. 1975. Value of fiber in production type diets for channel catfish. **Trans. Am. Fish. Soc.** 104: 328-332.
- Lee, S.-M., Kim, K.-D. and Lall, S.P. 2003. Utilization of glucose, maltose, dextrin and cellulose by juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). **Aquaculture** 221: 427-438.

- Lovell, T. 1989. **Nutrition and Feeding of Fish**. Van Nostrand Reinhold, New York.
- McMillan, A.M. and F.J. Dudley. 1941. Potato meal, tapioca meal and town waste in chicken rations. **Harpes Adams Utility, Poultry J.** 24: 191.
- Nutrient requirements of fish. 1993. **Committee on Animal Nutrition, Board on Agriculture**, National Research Council Washington, D.C. National Academy Press
- National Research Council. (NRC). 1977. Nutrient requirements of warm water fishes. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** 40: 80-85
- NRC. 1983. **Nutrient requirements of warm water fishes and shellfishes**. National Academy Press, Washington, D.C.
- NRC. 1993. **Nutrient Requirements of Fish**. National Academy Press, Washington, D.C.
- Robert, V.R. and W. K. Nip. 1984. Food sources and analysis of dietary, pp. 472-476. *In* **Human Nutrition Better Life**. Aksornsmat Press, Thailand
- Ruscoe, I.M., C.M. Jones, P.L. Jones and P. Caley. 2005. The effects of various binders and moisture content on pellet stability of research diets for freshwater crayfish. **J. Aquaculture Nutrition** 2005 11: 87-93.
- Roehrig, K.L. 1984. **Carbohydrate Biochemistry and Metabolism**. AVI Publishing company, Inc. Connecticut.
- Rosas, C. , Cuzon, G. , Gaxiola, G., Pascual, C., Taboada, G., Arena, L. and Van Wormhoudt, A. 2002. An Energetic and Conceptual Model of the Physiological Role of Dietary Carbohydrates and Salinity on *Litopenaeus vannamei* juveniles. **J. Exp. Mar. Biol.** 286 (2002): 47-67.

- Schneeman, B.O. 1986. Dietary fiber: Physical and chemical properties, method of analysis, and physiological effects. **Food Technol.** 40: 104 -110.
- Schoch, T.J. and E.C. Maywald. 1967. Industrial microscopy of starch, pp. 637-647. *In* R.L. Whistler and E.F. Paschall (Eds.). **Starch Chemistry and Technology**. Academic Press, New York.
- Shetty, R., D.R. Lineback and P.A. Seib. 1972. Measurement of starch gelatinization in cereal products. (Abstr.) **Cereal Sci. Today** 17: 279.
- Slavin, J.T. 1987. Dietary fiber : Classification, chemical, analysis and food sources. **J. Amer. Diet. Ass.** 87: 1163 – 1171.
- Southgate, D.A.T. 1976. Determination of food carbohydrates cited by B.O. Schneeman. Dietary fiber : physical and chemical properties, method of analysis, and physiological effects. **J. Food Technol.** 40: 104-110.
- Southgate, D.A.T. 1978. Dietary fiber: analysis and food sources. **Amer. J. Clin. Nutr.** 31: 1078.
- Sriroth, K., R. Chollakup, S. Chotineeranat, K. Piyachomkwan, and C. G. Oates. 2000. **Processing of cassava waste of improved biomass utilization**. Bioresorce Technology. 71(1): 63-69.
- Stowell, S.L. and D.M. Gatlin. 1992. Effects of dietary pantothen and lipid levels on growth and body composition of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. **J. Aquaculture** 108: 117-188.
- Thorne, P.J., Wiseman, J., Cole, D.J.A. and Machin, D. 1992. Effects of level of inclusion of copra meal in balanced diets supplemented with synthetic amino acids on growth and fat deposition and composition in growing pigs fed ad libitum at a constant temperature at 25°C. **Anim. Feed Sci. Technol.**, 40: 31-40.

Tucker, C.S. and Robinsons, E.H., 1990. **Channel Catfish Farming Handbook**. Van Nostrand Reinhold, New York.