บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. อาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารที่ใช้ในการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวเป็นเวลา 8 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 2 โดยอาหารสูตรที่มีระดับโปรตีน 35, 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ มีระดับโปรตีนที่ 36.0-36.4, 39.0-39.4 และ 44.2-44.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อาหารสูตรที่มีไขมัน 10, 15, 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ มีระดับไขมันที่ 9.5-12.0, 15.9-16.0, 20.7-21.3 และ 24.8-25.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เถ้าอยู่ในช่วง 9.4-12.1 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นอยู่ในช่วง 5.3-6.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างจากที่วางแผนการทดลองไว้ สำหรับพลังงานในอาหารระหว่าง 4.55-6.22 กิโลแคลอรีต่อกรัม

ตามปกติความต้องการระดับโปรตีนและไขมันของปลากินเนื้ออื่น ๆ เช่น ปลาแซลมอนและปลาเทร้าวัยรุ่นต้องการโปรตีน 40-45 เปอร์เซ็นต์ (Hilton and Slinger, 1981 อ้างถึงใน Hardy, 1989) ปลาในกลุ่ม salmonids ต้องการโปรตีน 48 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 16 เปอร์เซ็นต์ (Smith et al., 1979 อ้างถึงใน Halver, 1989) ปลาแบล็คซีบรีม *Sparus macrocephalus* ต้องการโปรตีน 40-50 เปอร์เซ็นต์ (Xu et al., 1991) ปลารดซีบรีม *Pagrus major* ต้องการโปรตีน 52 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 15 เปอร์เซ็นต์ (Takeuchi, Shiina and Watanabe, 1991) ปลาเยลโลเทล *Seriola quinqueradiata* ต้องการโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 15-20 เปอร์เซ็นต์ (Takeuchi et al., 1992) ซึ่งจากการวิเคราะห์อาหารในการทดลองครั้งนี้พบว่าอาหารสูตร 45/15 (โปรตีน/ไขมัน) มีค่าใกล้เคียงกับค่าเหล่านี้มากที่สุดคือโปรตีน 44.8 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 16.0 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2. ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารที่ใช้ในการทดลอง

สูตรอาหาร (โปรตีน/ไขมัน)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เถ้า (%)	ความชื้น (%)	พลังงาน (กิโลแคลอรี/กรัม)
35/10	36.4	10.8	9.6	6.4	4.55
35/15	36.1	15.9	9.6	6.1	4.69
35/20	36.0	20.8	9.5	6.2	5.10
35/25	36.3	24.9	9.4	5.6	5.36
40/10	39.0	12.0	11.0	6.1	4.74
40/15	39.2	15.9	10.7	6.1	5.06
40/20	39.4	20.7	10.9	5.3	5.55
40/25	39.0	25.3	10.2	5.9	5.70
45/10	44.2	9.5	12.1	6.3	5.40
45/15	44.8	16.0	11.9	6.1	5.70
45/20	44.5	21.3	11.6	5.5	5.75
45/25	44.6	24.8	11.9	6.1	6.22

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารทดลองทั้งหมด แสดงในตารางที่ 3 กรดไขมันในอาหารจะมีจำนวนชนิดมากขึ้นเมื่อระดับไขมันสูงขึ้น แต่ชนิดที่เพิ่มขึ้นจะพบในปริมาณน้อย จึงเป็นไปได้ว่าที่ระดับไขมันต่ำ กรดไขมันบางชนิดมีอยู่ในปริมาณน้อยมาก จนไม่สามารถตรวจวัดได้ แต่สามารถตรวจพบได้เมื่อเพิ่มระดับไขมันในอาหาร ปลาทะเลที่เป็นปลากินเนื้อทุกชนิดมีความต้องการกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (Highly Unsaturated Fatty Acids, HUFAs) ชนิดสายยาว เช่น 20:5(n-3) และ 22:6(n-3) เนื่องจากไม่สามารถสร้างกรดไขมันชนิดนี้จากกรดไขมันตั้งต้นตัวอื่นได้ (Fujii and Yone, 1976 อ้างถึงใน Halver, 1989; Jobling, 1994) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องได้รับจากอาหารอย่างเพียงพอ จากการทดลองค่า (n-3)HUFAs จากอาหารมีค่าอยู่ระหว่าง 2.8-5.8 เปอร์เซ็นต์ และจากการศึกษาในปลานรดชีบรีม *Pagrus major* ที่ได้รับอาหารที่มีระดับไขมัน 10-20 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีค่า (n-3)HUFAs ระหว่าง 1.5-4.0 เปอร์เซ็นต์ (Jobling, 1994)

2. ผลการเติบโต

การเติบโตของปลากะพงขาวระหว่าง 2 สัปดาห์แรก แสดงในตารางที่ ก-1 (ภาคผนวก ก) โดยปลาขนาด 1.1-1.2 กรัม มีการเติบโตอยู่ระหว่าง 2.6-3.9 กรัม คิดเป็นอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ต่อวัน 0.09-0.20 อัตราการแลกเนื้อ 1.46-2.66 ปลากลุ่มที่ได้รับอาหารสูตร 45/25 (โปรตีน/ไขมัน) ให้การเติบโตดีที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับกลุ่มอื่นที่ได้รับโปรตีนสูง (45 เปอร์เซ็นต์) และกลุ่มที่ได้รับไขมันสูง (20-25 เปอร์เซ็นต์) แต่แตกต่างทางสถิติกับกลุ่มที่ได้รับโปรตีน 35-40 เปอร์เซ็นต์ที่มีไขมัน 10-15 เปอร์เซ็นต์ การเติบโตของปลาสอดคล้องกับอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ต่อวันและอัตราการแลกเนื้อ สำหรับอัตรารอดพบว่าไม่มีการตายของปลาที่ทดลอง ยกเว้นในกลุ่ม 40/20 ที่สูญหายไป 1 ตัว เนื่องจากไม่พบซาก จึงคาดว่าอาจเกิดความผิดพลาดในขณะชั่งปลา หรือปลาหลบหนีจากกระชังออกสู่บ่อซีเมนต์มากกว่าการเป็นโรค หรือกินกันเองเนื่องจากอาหารไม่เพียงพอ

การเติบโตของปลากะพงขาวระหว่างสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 4 แสดงในตารางที่ ก-2 (ภาคผนวก ก) ให้การเติบโตสอดคล้องกับช่วง 2 สัปดาห์แรก แต่พบความแตกต่างมากขึ้น ปลากลุ่มที่ได้รับอาหารสูตร 45/25 ให้การเติบโตดีที่สุดเช่นเดียวกับ 2 สัปดาห์แรก แต่ไม่แตก

ตารางที่ 3. ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในอาหาร (เปอร์เซนต์ในไขมัน)

ชนิด	สูตรอาหาร (โปรตีน/ไขมัน)											
	35/10	35/15	35/20	35/25	40/10	40/15	40/20	40/25	45/10	45/15	45/20	45/25
14:0	4.28	3.74	5.20	4.75	4.00	4.15	2.50	3.75	3.86	4.64	4.05	6.74
14:1	-[*1]	-	-	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-
15:0	-	0.82	1.15	1.12	-	0.96	-	0.84	-	1.29	0.88	0.98
15:1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.26
16:0	23.91	22.67	23.80	23.25	22.58	22.47	23.56	20.12	23.71	20.66	23.11	23.79
16:1	5.37	6.04	6.53	6.64	5.46	6.23	6.16	5.35	6.56	6.32	6.09	7.78
17:0	2.20	1.98	2.25	2.15	-	2.04	1.98	1.77	2.20	2.24	2.16	1.75
18:0	5.57	5.43	4.75	5.01	6.23	5.51	5.53	5.39	6.60	5.47	5.63	5.00
18:1	22.09	20.68	16.44	20.03	20.03	20.12	21.60	20.45	20.15	18.68	21.10	21.37
18:2	22.13	17.70	18.61	16.61	14.05	14.84	17.62	16.09	16.91	18.40	16.42	14.05
18:3	-	0.87	0.82	0.26	-	0.76	0.76	0.53	-	1.11	-	-
20:1	-	-	1.24	0.84	-	-	0.89	0.95	-	-	-	-
20:4	-	1.40	1.42	1.25	-	1.31	1.03	1.44	-	1.78	1.09	0.53
20:5	4.44	5.13	4.59	4.23	8.18	6.17	4.92	5.35	6.71	5.30	5.04	4.82
22:6	10.00	13.55	13.20	13.62	19.46	15.44	13.46	17.97	13.30	14.12	14.45	12.92
(n-3)HUFAs[*2]	1.44	2.80	3.56	4.46	2.77	3.24	3.68	5.83	2.00	2.91	3.90	4.44

[*1] ไม่พบกรดไขมัน

[*2] ผลรวมของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (คำนวณจาก 20:5+22:6) คิดเป็นเปอร์เซนต์ในอาหาร

ต่างทางสถิติกับทุกกลุ่มที่ได้รับไขมันสูง (20-25 เปอร์เซ็นต์) ปลากลุ่มที่ได้รับโปรตีนต่ำ (35 เปอร์เซ็นต์) ที่มีไขมันต่ำถึงปานกลาง (10-15 เปอร์เซ็นต์) แสดงการเติบโตช้าอย่างเห็นได้ชัด อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ต่อวันและอัตราการแลกเนื้อไม่พบความแตกต่างกันมากนัก โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.15-0.11 และ 1.22-1.88 ตามลำดับ ไม่พบการตายในการทดลองช่วงนี้

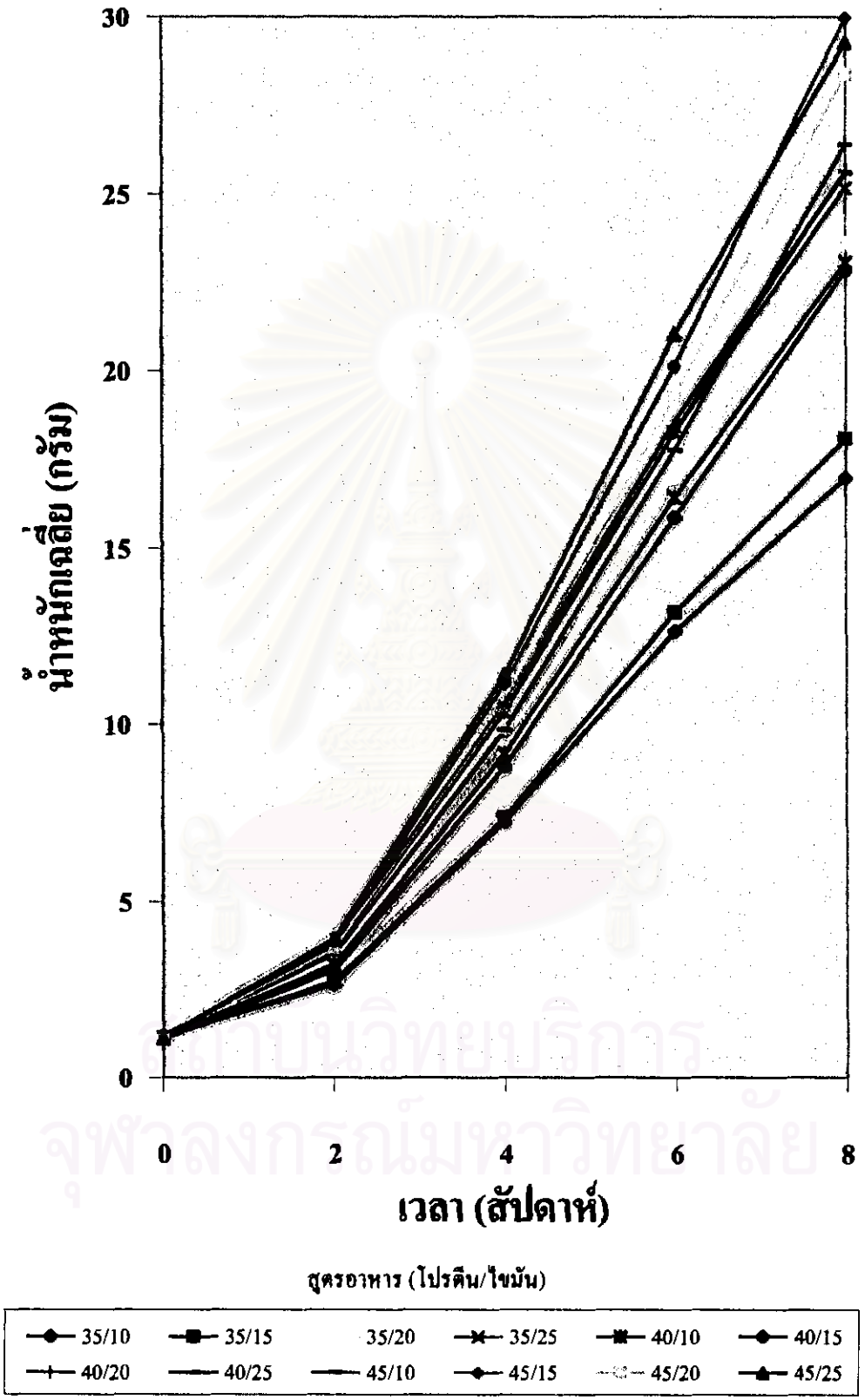
การเติบโตของปลากะพงขาวระหว่างสัปดาห์ที่ 4 ถึงสัปดาห์ที่ 6 แสดงในตารางที่ ค-3 (ภาคผนวก ค) อาจแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่คือ 1) กลุ่มที่ได้รับโปรตีนสูง (45 เปอร์เซ็นต์) ไขมันปานกลางถึงสูง (15-25 เปอร์เซ็นต์) ที่ให้การเติบโตดีที่สุด โดยกลุ่มที่ได้รับไขมัน 25 เปอร์เซ็นต์ ให้การเติบโตสูงสุดที่ 21.0 กรัม แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกลุ่มที่ได้รับไขมัน 15-20 เปอร์เซ็นต์ 2) กลุ่มที่ได้รับโปรตีนต่ำ (35 เปอร์เซ็นต์) ไขมันต่ำถึงปานกลาง (10-15 เปอร์เซ็นต์) ให้การเติบโตต่ำสุด (12.6-13.2 กรัม) และแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ และ 3) กลุ่มอื่น ๆ ที่ได้รับโปรตีนสูงไขมันต่ำ โปรตีนปานกลางไขมันทุกระดับ หรือโปรตีนต่ำไขมันสูง ที่มีการเติบโตอยู่ระหว่าง 16.4-18.6 กรัม สำหรับอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ต่อวันเมื่อเปรียบเทียบกับ 2 ระยะแรกมีค่าต่ำลง ในขณะที่อัตราการแลกเนื้อสูงขึ้น ไม่พบการตายในการทดลองระยะนี้เช่นกัน

การเติบโตของปลากะพงขาวระยะสุดท้ายของการทดลอง (สัปดาห์ที่ 6 ถึงสัปดาห์ที่ 8 แสดงในตารางที่ ค-4 (ภาคผนวก ค) พบว่าปลาในกลุ่มที่ได้รับโปรตีนสูง (45 เปอร์เซ็นต์) ให้การเติบโตดีกว่าโปรตีนกลุ่มอื่น ๆ โดยปลากลุ่มที่ได้รับไขมัน 15 เปอร์เซ็นต์ ให้การเติบโตสูงสุด แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ได้รับไขมัน 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปลาในกลุ่มที่ได้รับโปรตีนสูง (45 เปอร์เซ็นต์) ไขมันต่ำ (10 เปอร์เซ็นต์) ให้การเติบโตไม่แตกต่างจากกลุ่มโปรตีนปานกลางถึงต่ำ (35-40 เปอร์เซ็นต์) ไขมันสูง (20-25 เปอร์เซ็นต์) ปลาที่ได้รับไขมันต่ำถึงปานกลาง (10-15 เปอร์เซ็นต์) ที่มีโปรตีนปานกลาง (40 เปอร์เซ็นต์) ให้การเติบโตลดลง แต่แตกต่างจากกลุ่มโปรตีนต่ำ (35 เปอร์เซ็นต์) ไขมันต่ำ (10-15 เปอร์เซ็นต์) ที่ให้การเติบโตต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญ อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ต่อวันในระยะนี้มีค่า 0.03-0.04 ซึ่งไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนอัตราการแลกเนื้อที่ดีที่สุดมีค่าระหว่าง 1.14-1.18 (กลุ่มโปรตีน 45 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 15-25 เปอร์เซ็นต์) สำหรับอัตรารอดพบว่าไม่มีการตายของปลาที่ทดลอง

ยกเว้นในกลุ่ม 40/10 ที่ปลาสูญหายไป 1 ตัว ซึ่งไม่พบซากคาดว่าเป็นเหตุผลเดียวกับการที่ปลาสูญหายไประยะแรก

ผลการเติบโตของปลากะพงขาวโดยรวมตลอดระยะการทดลอง (8 สัปดาห์) แสดงในรูปที่ 3 และตารางที่ 4 สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ทั้งด้านน้ำหนักเฉลี่ย อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ต่อวัน และอัตราการแลกเนื้อ ดังนี้ 1) กลุ่มที่ได้รับโปรตีนสูง (45 เปอร์เซ็นต์) ไขมันปานกลางถึงสูง (15-25 เปอร์เซ็นต์) 2) กลุ่มที่ได้รับโปรตีนสูง (45 เปอร์เซ็นต์) ไขมันต่ำ (10 เปอร์เซ็นต์) และกลุ่มที่ได้รับโปรตีนต่ำถึงปานกลาง (35-40 เปอร์เซ็นต์) ไขมันสูง (20-25 เปอร์เซ็นต์) 3) กลุ่มที่ได้รับโปรตีนปานกลาง (40 เปอร์เซ็นต์) ไขมันต่ำถึงปานกลาง (15-20 เปอร์เซ็นต์) และ 4) กลุ่มที่ได้รับโปรตีนต่ำ (35 เปอร์เซ็นต์) ไขมันต่ำถึงปานกลาง (15-20 เปอร์เซ็นต์) โดยกลุ่มที่ได้รับโปรตีนสูง (45 เปอร์เซ็นต์) ไขมันปานกลางถึงสูง (15-25 เปอร์เซ็นต์) ให้การเติบโตสูงสุดมีน้ำหนักเฉลี่ย 28.4-30.0 กรัม อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ต่อวันที่ 0.50 และอัตราการแลกเนื้อ 1.26-1.30 สำหรับกลุ่มที่ให้การเติบโตต่ำสุดได้แก่ กลุ่มที่ได้รับโปรตีนต่ำ (35 เปอร์เซ็นต์) ไขมันต่ำถึงปานกลาง (15-20 เปอร์เซ็นต์) ที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 17.0-18.0 กรัม อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ที่ 0.26-0.29 และอัตราการแลกเนื้อ 1.97-2.20

การทดลองครั้งนี้พบว่าปลากะพงขาวยอมรับอาหารเม็ดแบบแห้ง (dry pellet) ได้ดีโดยเฉพาะอาหารสูตร 45/15 (โปรตีน 44.8 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 16.0 เปอร์เซ็นต์) เป็นสูตรอาหารที่เหมาะสมให้การเติบโตดีที่สุด ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการทดลองอาหารผสมแบบเปียก (moist pellet) ที่พบว่าการเติบโตที่ดีที่สุดของปลากะพงขาวขนาด 7.5 กรัม อยู่ที่ระดับโปรตีนและไขมัน 50 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (วิเชียร สาคเรศ และคณะ, 2531) ในขณะที่การเติบโตที่ดีที่สุดของปลากะพงขาวขนาด 5.1 กรัมอยู่ที่ระดับโปรตีนและไขมัน 45 และ 18 เปอร์เซ็นต์ (วิเชียร สาคเรศ และคณะ, 2532) ที่ต้องการโปรตีนและไขมันสูง นอกจากนี้ Wong and Chou (1989) พบว่าปลากะพงขาวเต็มวัยต้องการโปรตีนที่ระดับ 40-45 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 12 เปอร์เซ็นต์ ตามปกติปลาขนาดเล็กมีความต้องการโปรตีนในระดับสูงกว่าปลาขนาดใหญ่ แต่พบว่าการศึกษาในครั้งนี้ใช้ปลากะพงขาววัยรุ่นขนาด 1.1-1.2 กรัม มีการเติบโตดีที่สุดที่ระดับโปรตีนและไขมัน 44.8 และ 16.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับ



รูปที่ 3. การเติบโตของปลากะพงขาว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4. น้ำหนัก อัตราการเติบโต ค่า condition factor อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการบริโภคอาหารตลอดการทดลอง

สูตรอาหาร (โปรตีน/ไขมัน)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)[*1] เริ่มต้น	สัปดาห์ที่ 8	อัตราการเติบโตสัมพัทธ์	ค่า condition factor	อัตราการแลกเนื้อ	อัตราการบริโภค อาหาร (%)	โปรตีน (%)	พลังงาน[*2]
35/10	1.19±0.06	16.97±0.76^{e*3}	0.26^{d}	0.0123^{a}	2.20^{b}	7.48	2.72	34
35/15	1.15±0.07	18.08±1.45^{e}	0.29^{d}	0.0130^{a}	1.97^{b}	6.75	2.44	32
35/20	1.14±0.10	23.62±1.30^{cd}	0.39^{c}	0.0134^{a}	1.54^{b}	5.48	1.97	28
35/25	1.12±0.03	25.18±1.36^{cd}	0.42^{bc}	0.0135^{a}	1.49^{b}	5.33	1.93	29
40/10	1.13±0.00	23.08±1.69^{d}	0.38^{c}	0.0134^{a}	1.60^{b}	5.65	2.20	27
40/15	1.10±0.05	22.85±1.42^{d}	0.39^{c}	0.0135^{a}	1.56^{b}	5.54	2.18	28
40/20	1.10±0.01	25.62±0.50^{bcd}	0.44^{bc}	0.0139^{a}	1.44^{ab}	5.17	2.04	29
40/25	1.12±0.07	25.60±0.96^{bcd}	0.43^{bc}	0.0138^{a}	1.49^{b}	5.33	2.08	31
45/10	1.19±0.07	26.39±1.46^{bc}	0.42^{bc}	0.0134^{a}	1.41^{a}	5.07	2.24	27
45/15	1.13±0.04	30.00±0.99^{a}	0.50^{a}	0.0142^{a}	1.26^{a}	4.57	2.05	26
45/20	1.08±0.09	28.37±1.26^{ab}	0.50^{a}	0.0137^{a}	1.30^{a}	4.72	2.10	27
45/25	1.11±0.03	29.28±1.37^{a}	0.50^{a}	0.0138^{a}	1.27^{a}	4.60	2.05	29

[*1] น้ำหนักเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 20 ตัว x 3 ซ้ำ)

[*2] กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัมน้ำหนักตัว

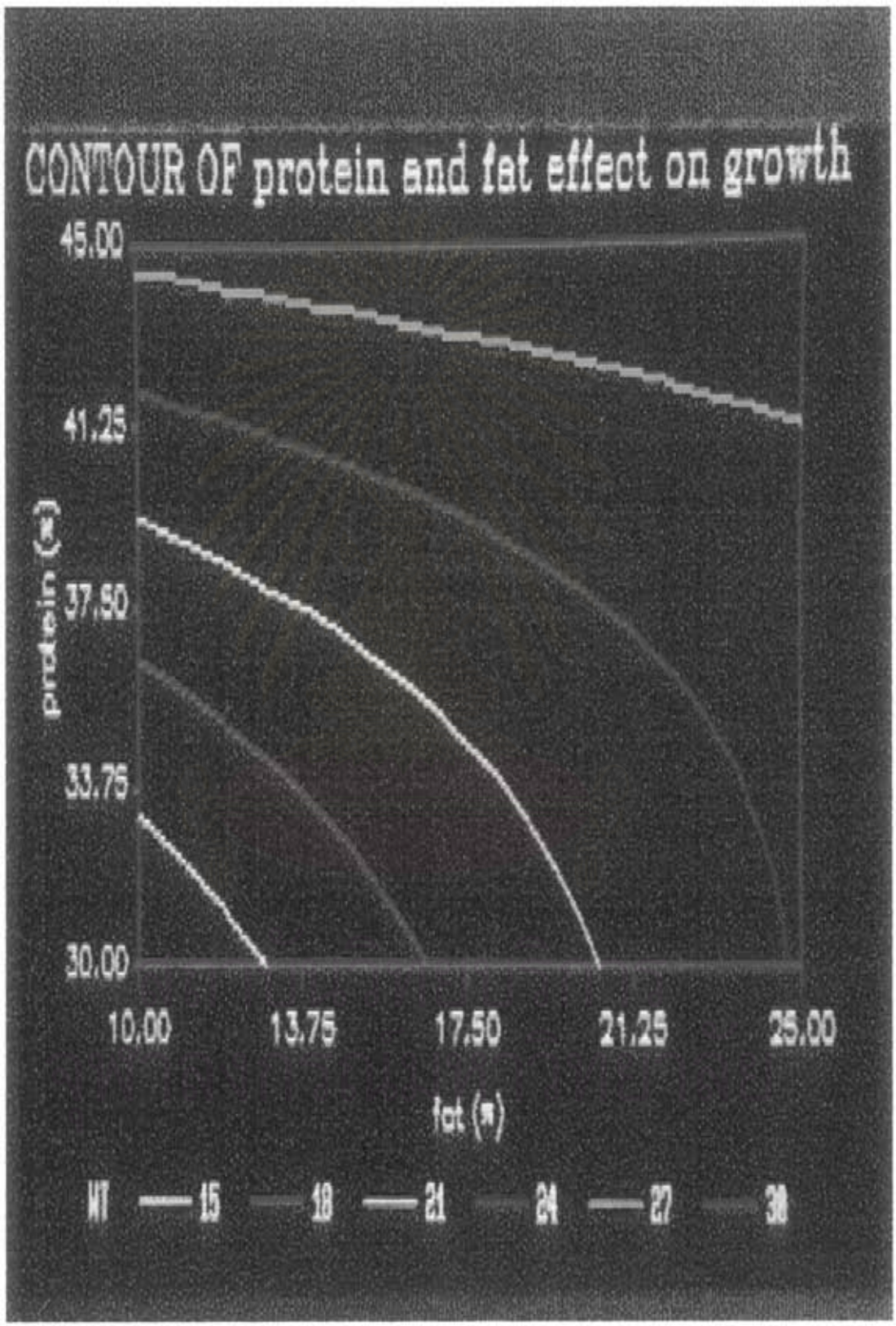
[*3] ตัวอักษรในสดมภ์เดียวกันเหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความต้องการของปลากะพงขาวขนาด 5.1 กรัม แสดงว่าการใช้อาหารเม็ดแบบแห้งในการเลี้ยงปลากะพงขาวขนาดเล็ก (1.1-1.2 กรัม) สามารถลดการใช้ปริมาณโปรตีนและไขมันในอาหารให้สูงพอเพียงกับปลากะพงขาวขนาด 5.1 กรัมที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมแบบเปียกได้เช่นกัน

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติเมื่อสิ้นสุดการทดลองแบบ factorial โดยการทดสอบสองทาง พบว่าระดับโปรตีนและระดับไขมันมีปฏิสัมพันธ์กัน และเมื่อวิเคราะห์โดยใช้ Analysis of variance ในการจัดแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด พบว่าอย่างน้อย 1 ชุดการทดลองที่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) (ภาคผนวก ค) จึงทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test (ภาคผนวก ค) พบว่าปลากลุ่มที่ได้รับอาหารสูตร 45/15 มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยสูงที่สุดที่ 30.0 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับอาหารสูตร 45/25 และ 45/20 แต่แตกต่างกับสูตรอาหารอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ สูตรอาหารที่มีระดับโปรตีนและไขมันสูงขึ้น ทำให้อัตราการเติบโตสูงขึ้น อาหารที่มีระดับโปรตีนเท่ากัน เมื่อเพิ่มระดับไขมันในอาหารจากต่ำไปสูง (10-20 เปอร์เซ็นต์) ทำให้ปลามีอัตราการเติบโตสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระดับไขมันให้สูงยิ่งขึ้น (20-25 เปอร์เซ็นต์) สังเกตได้ว่าการเติบโตค่อนข้างคงที่ (รูป ง-1, ภาคผนวก ง) แสดงว่าการเพิ่มระดับไขมันสูงในอาหารไม่ได้ทำให้การเติบโตของปลาสูงขึ้นตามระดับพลังงานของอาหารที่สูงขึ้น โดยเฉพาะในอาหารที่มีโปรตีนสูง (45 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งสังเกตได้ดังรูปที่ 4 ในทางตรงข้ามถ้าได้รับพลังงานมากเกินไปอาจทำให้การเติบโตลดลงด้วย เนื่องจากไม่ได้รับสารอาหารอื่นอย่างเพียงพอ จากปริมาณอาหารที่บริโภคลดลง (Lovell, 1989)

อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ต่อวัน (ตารางที่ 4) มีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระดับโปรตีนและไขมันในอาหาร (รูป ง-2 ภาคผนวก ง) การที่ปลาได้รับอาหารในปริมาณมากพอแสดงถึงการเติบโตที่เป็นปกติ จึงไม่มีการนำสารอาหารที่สะสมในร่างกายมาเผาผลาญให้เกิดพลังงาน ค่าอัตราการบริโภคอาหาร โปรตีน และพลังงานต่อวันของปลาทุกกลุ่มอยู่ระหว่าง 4.57-7.48 เปอร์เซ็นต์ 1.93-2.72 เปอร์เซ็นต์ และ 26-34 กิโลแคลอรี/100 กรัมน้ำหนักตัว ตามลำดับ ซึ่งค่าอัตราการบริโภคไม่มีผลต่ออัตราการเติบโตสัมพัทธ์ เนื่องจากเมื่อค่าอัตราการบริโภคอาหารลดลง แต่ไม่ได้ทำให้อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ต่อวันลดลงด้วย ซึ่งมีผลมาจากปลาจะ



รูปที่ 4. เส้น contour ของอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ต่อวันของปลากะพงขาว

บริโภคอาหารให้พอดีกับความต้องการเท่านั้น ดังนั้นปลาจะบริโภคอาหารน้อยลงถ้าในอาหารมีปริมาณโปรตีนและพลังงานเพียงพอหรือมากเกินไป (Phillips, 1972)

ค่า condition factor (ตารางที่ 4) ของปลากะพงขาวทั้ง 12 ชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน (0.0123-0.0142) แสดงว่าปลาทั้งหมดมีสัดส่วนการเติบโตที่เหมือนกัน

อัตราการแลกเนื้อ (ตารางที่ 4) มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระดับโปรตีนและไขมันในอาหาร (รูป ง-3 ภาคผนวก ง) ค่าอัตราการแลกเนื้อของสูตร 45/15 มีค่าต่ำที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับสูตร 45/25 และ 45/20

การใช้โปรตีนสุทธิ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (ตารางที่ 5) ของปลาทุกกลุ่มอยู่ในช่วง 0.89-1.46, 1.25-1.85 และ 0.10-0.14 กรัม/กิโลแคลอรี ตามลำดับ จะเห็นว่าการใช้โปรตีนสุทธิ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน จะแปรผันตามกัน (รูป ง-4 ภาคผนวกง) สูตรอาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำ (35 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเพิ่มระดับไขมันในอาหารทำให้การใช้โปรตีนสุทธิ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เพิ่มขึ้น แต่เมื่อระดับโปรตีนสูงขึ้น การเพิ่มระดับไขมันในอาหาร มีแนวโน้มต่อการใช้โปรตีนสุทธิ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ในระดับคงที่หรือลดลง แสดงว่าเมื่อปลาได้รับโปรตีนที่เพียงพอหรือได้รับโปรตีนในระดับสูง การเพิ่มปริมาณไขมันในอาหารไม่มีผลต่อการใช้โปรตีนสุทธิ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ซึ่งค่าการใช้โปรตีนสุทธิและประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจะเกี่ยวข้องกับการใช้โปรตีนและปริมาณพลังงานในอาหาร ค่าเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อโปรตีนและพลังงานอยู่ในระดับที่พอเหมาะต่อการบริโภคเท่านั้น (Hepher, 1988)

ตารางที่ 5. การใช้โปรตีนสุทธิ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

สูตรอาหาร (โปรตีน/ไขมัน)	การใช้โปรตีนสุทธิ	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน	ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (กรัม/กิโลแคลอรี)
35/10	0.89	1.25	0.10
35/15	0.99	1.42	0.11
35/20	1.32	1.81	0.13
35/25	1.47	1.85	0.13
40/10	1.18	1.62	0.13
40/15	1.16	1.64	0.13
40/20	1.33	1.77	0.13
40/25	1.34	1.73	0.12
45/10	1.33	1.60	0.13
45/15	1.46	1.78	0.14
45/20	1.37	1.73	0.13
45/25	1.42	1.77	0.13

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองครั้งนี้ไม่พบการตายที่เกิดจากผลของอาหารที่ใช้หรือโรค นอกจากปลาที่สูญหายไปจากการทดลอง 2 ตัว ทั้งนี้เนื่องมาจากการเลี้ยงที่มีคุณภาพน้ำเหมาะสม มีการฆ่าเชื้อก่อนนำมาใช้ และมีการคัดปลาที่มีร่างกายแข็งแรงสมบูรณ์ มีขนาดใกล้เคียงกันมาใช้ในการทดลอง และอาหารทดลองมีคุณค่าทางอาหารเพียงพอต่อความต้องการของปลากะพงขาว

3. คุณภาพเนื้อและตับ

คุณภาพเนื้อของปลากะพงขาวก่อนและหลังการทดลอง แสดงในตารางที่ 6 พบว่าก่อนการทดลองเนื้อปลามีปริมาณโปรตีน 12.5 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 2.8 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 4.7 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 75.0 เปอร์เซ็นต์ และพลังงาน 5.48 กิโลแคลอรีต่อกรัมน้ำหนักแห้ง หลังการทดลองซากปลามีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 13.8-16.4 เปอร์เซ็นต์ ไขมันอยู่ในช่วง 1.4-4.1 เปอร์เซ็นต์ เถ้าอยู่ในช่วง 4.4-4.8 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นอยู่ในช่วง 75.0-77.1 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานอยู่ในช่วง 5.40-6.59 กิโลแคลอรีต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณพลังงานใกล้เคียงกับปลาในกลุ่ม salmonids ซึ่งมีพลังงานอยู่ในช่วง 5-6 กิโลแคลอรีต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (Chou, Cowey and Watanabe, 1985) เมื่อระดับโปรตีนและไขมันในอาหารสูงขึ้น เนื้อปลาจะมีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงขึ้นเช่นกัน ปริมาณไขมันในตับอยู่ในช่วง 29.2-62.3 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) โดยอาหารที่มีไขมันในระดับสูงขึ้นมีแนวโน้มว่าจะมีการสะสมไขมันในตับและเนื้อเยื่อสูงขึ้นด้วย Watanabe (1988) พบว่าองค์ประกอบของไขมันในตัวปลาขึ้นกับปริมาณไขมันในอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับ Ogino et al. (1976) พบว่าในปลาเรนโบว์เทร้ามีการสะสมไขมันในร่างกายมากขึ้นเมื่ออาหารมีระดับไขมันสูงขึ้น ปริมาณไขมันในอาหารทั้ง 12 สูตรพอดีกับความต้องการของปลาคือไม่มากเกินไป เพราะปลามีการสะสมไขมันในเนื้อเยื่อในปริมาณที่ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพเนื้อ (carcass quality) แต่ปลากะพงขาวมีความสามารถในการสะสมไขมันในตับสูง สังเกตได้จากการมีไขมันสะสมในปริมาณสูงขึ้นเมื่ออาหารมีไขมันสูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในตับปลาแสดงในตารางที่ 7 ค่า (n-3)HUFAs ในตับปลามีค่าอยู่ในช่วง 0.85-3.91 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 6. องค์ประกอบของเนื้อและไขมันในดับปลาก่อนและหลังการทดลอง

สูตรอาหาร	เนื้อปลา					ดับปลา
(โปรตีน/ไขมัน)	โปรตีน[*1]	ไขมัน[*1]	เถ้า[*1]	ความชื้น[*1]	พลังงาน[*2]	ไขมัน[*2]
	(%)	(%)	(%)	(%)	(กิโลแคลอรี/กรัม)	(%)
ก่อนการทดลอง	12.5	2.8	4.7	75.0	5.48	-[*3]
หลังการทดลอง						
35/10	14.0	1.5	4.7	77.0	5.59	29.2
35/15	13.8	1.4	4.5	77.3	5.87	31.5
35/20	14.5	1.4	4.6	76.7	5.40	48.1
35/25	15.7	3.6	4.7	75.0	5.69	54.0
40/10	14.5	2.4	4.6	76.4	5.67	31.2
40/15	14.1	2.2	4.8	76.7	5.61	30.4
40/20	14.9	2.6	4.7	77.1	5.77	62.3
40/25	15.4	3.5	4.6	76.3	5.62	50.2
45/10	16.4	2.1	4.4	75.1	6.22	30.3
45/15	16.3	2.6	4.6	75.7	6.59	35.3
45/20	15.7	3.3	4.5	76.3	6.30	48.5
45/25	15.5	4.1	4.5	76.4	6.10	55.7

[*1] น้ำหนักเปียก

[*2] น้ำหนักแห้ง

[*3] ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 7. ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่พบในตับปลา (เปอร์เซนต์)

ชนิด	สูตรอาหาร (โปรตีน/ไขมัน)											
	35/10	35/15	35/20	35/25	40/10	40/15	40/20	40/25	45/10	45/15	45/20	45/25
14:0	4.90	4.73	5.94	8.12	8.16	4.53	6.45	4.73	5.33	4.94	8.08	4.49
14:1	-[*1]	-	-	-	-	-	0.47	-	-	-	-	-
15:0	1.07	1.08	1.30	1.63	1.78	1.10	1.47	1.27	0.98	0.99		1.17
15:1	-	-	-	-	-	0.20	-	-	-	-	1.79	-
16:0	23.42	22.57	25.28	27.59	28.27	21.47	25.05	23.23	23.43	24.04	28.60	21.74
16:1	6.69	7.27	8.50	9.89	9.70	7.25	8.88	7.32	7.58	7.63	8.80	6.36
17:0	2.17	2.30	2.35	2.73	2.48	2.24	2.54	2.31	2.23	2.24	2.53	2.27
18:0	6.26	5.29	4.88	4.27	4.76	5.49	4.89	5.60	6.20	6.20	4.95	5.22
18:1	21.14	22.30	22.75	20.75	19.71	23.32	21.65	23.03	22.12	21.67	21.57	23.63
18:2	18.02	17.33	16.48	15.69	15.47	16.78	15.60	15.66	14.23	14.20	13.72	16.70
18:3	0.79	0.59	0.52	0.56	0.42	0.76	0.41	0.34	0.48	0.41	-	0.29
20:0	-	-	-	-	-	0.36	-	0.32	-	0.28	-	0.28
20:1	0.56	0.75	0.50	-	-	1.28	0.74	1.03	0.98	0.76	-	1.25
21:0	-	-	-	-	-	0.26	-	-	-	0.24	-	-
20:4	1.46	1.26	0.97	0.62	0.77	1.16	0.79	0.93	1.08	1.25	0.89	0.96
20:5	2.36	3.01	2.59	2.20	2.48	0.12	2.67	2.80	3.52	3.44	2.07	3.18
22:6	11.15	11.51	7.91	5.95	6.00	13.67	8.41	11.42	11.84	11.71	6.99	12.47
(n-3)HUFAs[*2]	1.35	2.18	2.10	2.04	0.85	2.07	2.22	3.56	1.54	2.27	1.81	3.91

[*1] ไม่พบกรดไขมัน

[*2] ผลรวมของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (คำนวณจาก 20:5+22:6) คิดเป็นเปอร์เซนต์ในอาหาร

กรดไขมันในตับปลาจะมีจำนวนชนิดมากกว่าในอาหารปลา เนื่องจากปลาสามารถสร้างหรือสังเคราะห์กรดไขมันชนิดอื่นได้จากกรดไขมันตั้งต้นตัวอื่น แล้วสะสมไว้ในตับ เนื่องจากในตับมีเอนไซม์หลายชนิดที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดไขมัน ทำให้สังเคราะห์กรดไขมันได้มาก

4. อัตราการย่อยโปรตีนและพลังงาน

อัตราการย่อยโปรตีนและพลังงานแสดงในตารางที่ 8 โดยค่าอัตราการย่อยโปรตีนที่ 3 และ 6 ชั่วโมงหลังจากให้อาหารอยู่ระหว่าง 82.5-91.7 และ 85.9-92.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้นี้ต่ำกว่าค่าที่ได้จากปลาเรนโบว์เทร้าที่มีค่าอัตราการย่อยโปรตีนสูงถึง 96.4 เปอร์เซ็นต์ (Nose, 1967 อ้างถึงใน Hepher, 1988) และจากการทดลองพบว่า ค่าอัตราการย่อยพลังงานที่ 3 และ 6 ชั่วโมงหลังจากให้อาหารมีค่าระหว่าง 82.5-92.3 และ 85.0-91.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าความสามารถในการย่อยโปรตีนและพลังงานของอาหารทั้ง 12 สูตร ที่เวลา 3 ชั่วโมงหลังจากให้อาหารอยู่ในช่วง 201.9-297.7 กรัม และ 3.8-5.7 กิโลแคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ ค่าความสามารถในการย่อยโปรตีนและพลังงานของอาหารที่เวลา 6 ชั่วโมงหลังจากให้อาหารมีค่าระหว่าง 209.4-296.8 กรัม และ 3.9-5.7 กิโลแคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ ค่าความสามารถในการย่อยโปรตีนและพลังงานจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับโปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Nose (1967) อ้างถึงใน Hepher (1988) ศึกษาในปลาแซลโมนิด ส่วนค่าความสามารถในการย่อยไขมันขึ้นกับส่วนประกอบของไขมันและความอิ่มตัวของกรดไขมัน ซึ่งค่าความสามารถในการย่อยไขมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนพันธะคู่ในกรดไขมันเพิ่มขึ้น (Nose, 1967 อ้างถึงใน Hepher, 1988)

ค่าสัดส่วนของความสามารถในการย่อยพลังงานต่อกรัมโปรตีน (digestible energy/protein, DE/P) โดยเฉลี่ยของอาหารทดลองมีค่าระหว่าง 10.47-13.52 กิโลแคลอรีต่อกรัมโปรตีน ซึ่งใกล้เคียงกับปลา *Salmo gairdneri* มีค่าสัดส่วนของความสามารถในการย่อยพลังงานต่อกรัมโปรตีนเท่ากับ 11.63 กิโลแคลอรีต่อกรัมโปรตีน (Ogino et al, 1976 อ้างถึงใน Hepher, 1988) และปลา *Lobeo rohita* วันรุ่น มีค่าสัดส่วนของความสามารถในการย่อย

I17142453

ตารางที่ 8. อัตราและความสามารถในการย่อยโปรตีนและพลังงาน และความสามารถในการย่อยพลังงาน/โปรตีน

	สูตรอาหาร (โปรตีน/ไขมัน)											
	35/10	35/15	35/20	35/25	40/10	40/15	40/20	40/25	45/10	45/15	45/20	45/25
โปรตีนในอาหาร (%)	36.40	36.10	36.00	36.30	39.00	39.20	39.40	39.00	44.20	44.80	44.50	44.60
อัตราการย่อยโปรตีน (%)												
3 ชั่วโมง	82.45	84.55	88.45	89.95	86.98	84.74	88.80	91.74	85.84	91.60	84.92	89.99
6 ชั่วโมง	85.92	87.68	89.44	87.68	88.90	88.60	87.55	89.50	92.07	91.32	88.94	92.33
ความสามารถในการย่อยโปรตีน (กรัม)												
3 ชั่วโมง	207.67	201.9	220.28	233.34	236.14	225.15	246.74	259.91	270.15	297.72	268.09	286.00
6 ชั่วโมง	216.41	209.37	222.75	227.45	241.35	235.40	243.27	253.56	289.75	296.81	280.78	293.43
พลังงานในอาหาร (กิโลแคลอรี/กรัม)	5.07	5.20	5.67	6.00	5.32	5.58	6.22	6.55	5.40	5.36	6.47	6.22
อัตราการย่อยพลังงาน (%)												
3 ชั่วโมง	82.45	84.55	89.22	91.29	86.05	84.74	89.60	92.33	83.48	90.20	83.76	90.90
6 ชั่วโมง	85.04	87.68	90.10	88.45	87.42	87.84	87.55	89.50	90.85	89.46	87.36	91.90
ความสามารถในการย่อยพลังงาน (กิโลแคลอรี/กรัม)												
3 ชั่วโมง	3.75	3.97	4.55	4.89	4.08	4.29	4.97	5.36	4.51	5.14	4.82	5.65
6 ชั่วโมง	3.87	4.11	4.60	4.74	4.14	4.44	4.86	5.19	4.91	5.10	5.02	5.72
ความสามารถในการย่อยพลังงาน/โปรตีน (กิโลแคลอรี/กรัมโปรตีน)												
3 ชั่วโมง	10.31	10.98	12.64	13.48	10.46	10.94	12.62	13.73	10.20	11.48	10.82	12.68
6 ชั่วโมง	10.63	11.39	12.76	13.06	10.62	11.34	12.33	13.31	11.10	11.38	11.29	12.82

พลังงานต่อกรัมโปรตีนเท่ากับ 10.53 กิโลแคลอรีต่อกรัมโปรตีน (Das, Mohanty and Sarkar, 1991)

จากผลการทดลองที่ผ่านมาอาหารสูตร 45/15 เป็นอาหารที่ดีที่สุดที่ให้อัตราการเติบโตสูงสุด มีอัตราแลกเนื้อต่ำสุด ให้ค่าสัดส่วนของความสามารถในการย่อยพลังงานต่อกรัมโปรตีนเฉลี่ยเท่ากับ 11.43 กิโลแคลอรีต่อกรัมโปรตีน ถึงแม้ว่าจะให้การเติบโตไม่แตกต่างกับสูตร 45/25 และ 45/20 แต่การใช้สูตร 45/15 เป็นการลดปริมาณการใช้ไขมันในอาหารลง อีกทั้งการใช้อาหารชนิดเม็ดแบบแห้งนี้มีความสะดวกในการใช้ การเก็บรักษาและการขนส่ง ทำให้สามารถขยายพื้นที่ในการเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวไปในบริเวณที่ห่างไกลจากแหล่งปลาสดได้

5. คุณภาพน้ำ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำดังตารางที่ 9 พบว่า อุณหภูมิของน้ำมีค่าเฉลี่ย 26.5 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าเฉลี่ย 7.4 ออกซิเจนละลายในน้ำมีค่าเฉลี่ย 4.6 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเค็มมีค่าเฉลี่ย 15.5 ส่วนในพันส่วน ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ตารางที่ 9. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

สัปดาห์ที่	พารามิเตอร์			
	อุณหภูมิ (^{0}C)	ความเป็นกรดเป็นด่าง	ออกซิเจนละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเค็ม (ppt)
0-2	28.0 ± 2.0	7.4 ± 0.2	4.7 ± 0.2	17.0 ± 1.0
2-4	27.0 ± 2.0	7.3 ± 0.1	4.6 ± 0.2	16.0 ± 1.0
4-6	26.0 ± 1.5	7.5 ± 0.1	4.6 ± 0.2	15.0 ± 1.0
6-8	25.0 ± 2.0	7.4 ± 0.2	4.5 ± 0.2	14.0 ± 0.5
ค่าเฉลี่ย	26.5 ± 1.7	7.4 ± 0.01	4.6 ± 0.01	15.5 ± 1.7