

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ปลาทอง (*Carassius auratus*) น้ำหนักเฉลี่ย 5 กรัม จำนวน 750 ตัว
2. ผงขมิ้นชัน
3. เคอร์คูมินอยด์
4. วัตถุดิบและอุปกรณ์ในการทำอาหารปลา
5. เครื่องมือในการวิเคราะห์โภชนะในอาหารทดลอง
6. ตู้ขนาด 0.45x0.35x0.61 ม³ จำนวน 50 ตู้
7. อุปกรณ์การผ่าตัด
8. อุปกรณ์ศึกษาค่าโลหิตวิทยา
9. เครื่องชั่งน้ำหนัก
10. เครื่องวัดสี (Colorimeter, Minolta color reader CR – 10)
11. อุปกรณ์วิเคราะห์ digestive enzyme และ oxidative enzyme
 - 11.1 เครื่อง centrifuge
 - 11.2 ตู้อบ
 - 11.3 เครื่อง spectrophotometer
 - 11.4 เครื่อง homogenizer
12. อุปกรณ์วิเคราะห์เคอร์คูมินอยด์
 - 12.1 เครื่อง rotary evaporation
 - 12.2 pare shape flask
 - 12.3 siliga plate
 - 12.4 เครื่อง densitometer
 - 12.5 เครื่อง auto spot
 - 12.6 TLC tank
 - 12.7 เครื่อง sonicate

วิธีการ

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการใช้ไขมันชั้นในอาหารระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโต กิจกรรมของ digestive enzyme ความหืนในเนื้อ และสุขภาพของปลาในสภาวะการเลี้ยงแบบปกติ และกิจกรรมของ oxidative enzyme ในสภาวะที่มีความเครียด

การศึกษากการใช้ไขมันชั้นผสมในอาหารปลาทอง เป็นการศึกษาการใช้ประโยชน์ไขมันชั้นเมื่อเสริมในอาหารระดับต่าง ๆ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาอาหารเพื่อช่วยด้านการเจริญเติบโต โดยผสมที่ระดับ 0, 0.1, 0.5, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ทำการศึกษาผลของไขมันชั้นต่อการเจริญเติบโต กิจกรรมของ digestive enzyme และสุขภาพของปลา แบ่งออกเป็น 2 การทดลองย่อยคือ การศึกษาในสภาวะปกติ และการศึกษาในสภาวะที่มีความเครียด (stress test)

การทดลองที่ 1.1 ศึกษาผลของการใช้ไขมันชั้นต่อการเจริญเติบโต กิจกรรมของ digestive enzyme ความหืนในเนื้อ และสุขภาพของปลาในสภาวะการเลี้ยงแบบปกติ

ทำการทดลองในปลาทองขนาด 5 กรัม โดยให้อาหารที่มีโปรตีน 40.61 เปอร์เซ็นต์ พลังงานที่ย่อยได้ $2,374.52 \pm 48$ กิโลแคลอรี/กิโลกรัม

แผนการทดลอง

แผนการทดลองแบบ CRD (complete randomized design) โดยแบ่งการทดลองเป็น 6 ชุดการทดลอง ๆ ละ 6 ซ้ำ โดยศึกษาระดับของไขมันชั้นที่แตกต่างกัน คือ

ชุดการทดลองที่ 1	อาหารชุดควบคุมผสมไขมันชั้น	0	เปอร์เซ็นต์
ชุดการทดลองที่ 2	อาหารผสมไขมันชั้น (crude product)	0.1	เปอร์เซ็นต์
ชุดการทดลองที่ 3	อาหารผสมไขมันชั้น (crude product)	0.5	เปอร์เซ็นต์
ชุดการทดลองที่ 4	อาหารผสมไขมันชั้น (crude product)	1	เปอร์เซ็นต์
ชุดการทดลองที่ 5	อาหารผสมไขมันชั้น (crude product)	3	เปอร์เซ็นต์
ชุดการทดลองที่ 6	อาหารผสมไขมันชั้น (crude product)	5	เปอร์เซ็นต์

หมายเหตุ ไขมันชั้น 1,000 กรัม มีสารประกอบคอเลสเตอรอล 50 มิลลิกรัม

โดยมีสูตรอาหารดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของอาหารปลาของระยะเล็กที่ใช้ไขมันชั้นผสมในระดับต่าง ๆ

วัตถุดิบ	ปริมาณวัตถุดิบในสูตรอาหารผสมไขมันชั้น (เปอร์เซ็นต์)					
	0	0.1	0.5	1	3	5
ปลาป่น	47	47	47	47	47	47
กากถั่วเหลือง	22	22	22	22	22	22
รำ	9	9	9	9	9	9
พรีมิกซ์	1	1	1	1	1	1
น้ำมันปลา	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
น้ำมันพืช	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
แป้งมันสำปะหลัง	13.8	13.7	13.3	12.8	10.8	8.8
ไคแคลเซียมฟอสเฟต	1	1	1	1	1	1
คลอเลสเทอรอล	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
เลซิทิน	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
สารเหนียว	5	5	5	5	5	5
บีเอชที	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
ไขมันชั้น	0	0.1	0.5	1	3	5
รวม	100	100	100	100	100	100

หมายเหตุ พรีมิกซ์ 1 กิโลกรัมที่ใช้ประกอบด้วย vitamin A 7,000,000 IU; vitamin D3 1,400,000 IU; vitamin E 3 g; vitamin K₃ 10 mg; thiamine 20 mg; riboflavin 20 mg; niacin 150 mg; folic acid 5 mg; pyridoxine 20 mg; choline chloride 200 mg; vitamin B₁₂ 0.2 mg; biotin 2 mg; inositol 400 mg; Mg 25 mg; zinc 20 mg; copper 5 mg; iodine 5 mg; cobalt 0.05 mg; selenium 0.2 mg; iron 30 mg

ตารางที่ 3 โภชนะในอาหารที่ใช้ไขมันชั้นผสมในระดับต่าง ๆ

วัตถุดิบ	ปริมาณวัตถุดิบในสูตรอาหารผสมไขมันชั้น (เปอร์เซ็นต์)					
	0	0.1	0.5	1	3	5
โปรตีน (%)	41.50	41.81	40.34	41.33	39.52	39.19
ไขมัน (%)	4.36	4.15	3.54	4.05	3.46	4.00
เยื่อใย (%)	4.17	4.23	4.62	4.28	5.00	4.70
เถ้า (%)	12.20	11.64	11.11	12.17	12.65	14.28
ความชื้น (%)	12.11	13.70	13.10	11.31	12.12	13.28
พลังงานที่ย่อยได้ ^{1/} (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	2,374.52	2,407.13	2,377.54	2,441.75	2,340.82	2,305.36
เคอร์คูมิน(มก./ก.)	0	0.01	0.04	0.14	0.23	0.54

หมายเหตุ

^{1/} กำหนดโดยใช้สูตร $DE = (\% \text{โปรตีน} \times 3.5) + (\% \text{ไขมัน} \times 8.0) + (\% \text{NFEX} \times 2.5)$ (NRC, 1993)

สัตว์ทดลอง

ทดลองในปลาทอง (*Carassius auratus*) น้ำหนักเฉลี่ย 5 กรัม ที่ได้รับการฝึกกินอาหาร จมนาน 1 เดือน โดยใช้ตู้กระจกขนาด 0.45x0.35x0.61 ม³ จำนวนทั้งหมด 30 ตู้ ตู้ละ 15 ตัว ให้ปลาทองปรับตัวอยู่ในตู้กระจกนาน 1 สัปดาห์ ก่อนเริ่มการทดลองนำปลาทองตัวอย่าง วิเคราะห์ระดับ digestive enzyme เริ่มต้น โดยแบ่งปลาทองจำนวน 3 ตัวของแต่ละหน่วยการทดลองในแต่ละซ้ำ

การดำเนินการทดลอง

ให้อาหารปลาทอง 2 มื้อ เวลา 9.00 และ 16.00 น. ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ทำการทดลองเป็นเวลา 1 เดือน

การเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลคุณภาพอาหาร การเจริญเติบโต กิจกรรมของเอนไซม์ในทางเดินอาหาร ความหิวในเนื้อ และสุขภาพของปลา ดังนี้

การเก็บข้อมูลคุณภาพอาหาร

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารแบบ proximate analysis โดยวิเคราะห์ความชื้น โปรตีน ไขมัน เกลือ และเถ้า ตามวิธีของ A.O.A.C. (2000) และวัดปริมาณเฮอร์คูมินในวัตถุดิบ ขมิ้นชัน โดยวิธีของ international Organization for Standardization (1983) ดังนี้

- วิเคราะห์เพื่อหาปริมาณโปรตีน โดยวิธี micro-kjeldahl
- วิเคราะห์เพื่อหาปริมาณไขมัน โดยวิธี ether-extraction
- วิเคราะห์เพื่อหาปริมาณเถ้า โดยวิธี muffle furnace combustion
- วิเคราะห์เพื่อหาปริมาณเกลือ โดยวิธี classical method
- วิเคราะห์เพื่อหาปริมาณความชื้น โดยวิธี oven-drying
- วิเคราะห์เพื่อหาปริมาณเฮอร์คูมิน โดยวิธี TLC

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต

ทำการเก็บข้อมูล โดยบันทึกค่าดังนี้

1. การเจริญเติบโต
 - 1.1 น้ำหนักเฉลี่ย
 - 1.2 น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย (weight gain: Wg)
 - 1.3 น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน (average daily weight gain: ADG)
2. ประสิทธิภาพการใช้อาหาร
 - 2.1 ปริมาณอาหารที่กิน (feed intake: FI)
 - 2.2 ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อตัว
 - 2.3 ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน
3. อัตราการเปลี่ยนอาหาร (feed conversion rate: FCR)
4. ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio: PER)

กิจกรรมของเอนไซม์ในทางเดินอาหาร

วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ในทางเดินอาหาร ซึ่งได้แก่ protease, amylase และ lipase ด้วยการสุ่มเก็บตัวอย่างทางเดินอาหารทั้งหมดจากปลาซ้าละ 3 ตัว ตามวิธีของ Vega-Villasante (1999) และ Markweg-Hank (1995)

ความหืนในเนื้อ

วิเคราะห์ TBARS ในเนื้อปลา ด้วยการสุ่มเก็บตัวอย่างเนื้อจากปลาที่ใช้วิเคราะห์ digestive enzyme ซ้ำละ 3 ตัว โดยวิธีของ Burk *et al.* (1980)

การเก็บข้อมูลสุขภาพปลา

ศึกษาองค์ประกอบของเลือดโดยวัดค่าฮีโมโกลบิน (hemoglobin) และเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดแดง (hematocrit) ด้วยการสุ่มเก็บตัวอย่างจากปลาซ้ำละ 3 ตัว จำนวน 0.5 มิลลิลิตร โดยเกลือบ เข็มฉีดยาด้วย ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) ความเข้มข้นที่ระดับอิมิตัว และ ตรวจวัดค่าฮีโมโกลบินและเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดแดงด้วยเครื่อง SYSMEX รุ่น SF 820

การทดลองที่ 1.2 ศึกษาผลของการใช้ไขมันชั้นในอาหารระดับต่าง ๆ ต่อ กิจกรรมของ เอนไซม์อะคะเตเลส ในสถานะที่มีความเครียด

การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์อะคะเตเลส เมื่อเสริมไขมันชั้นที่ระดับต่าง ๆ ในอาหาร เพื่อ เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาอาหารทางด้านสุขภาพปลาต่อไป

การดำเนินการทดลอง

ใช้ปลาในการทดลองที่ 1.1 โดยทุก 2 สัปดาห์ แบ่งปลาทองจำนวน 3 ตัวของแต่ละ หน่วยการทดลอง แยกใส่เครื่องทำความร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียสเพื่อเป็นการสร้างความเครียด แซ่เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษากิจกรรมของเอนไซม์อะคะเตเลส

การเก็บข้อมูล

วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์อะคะเตเลส โดยวิธีของ Cloiborne (1985)

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของเคอร์คูมินอยด์ต่อการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงสีผิว และค่าโลหิตวิทยา

การศึกษการใช้เคอร์คูมินอยด์ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์หลักในขมิ้นชันผสมในอาหารปลาทอง เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาอาหารคุณภาพเมื่อเสริมในอาหารระดับต่าง ๆ โดยผสมที่ระดับ 0, 2,500, 5,000, 7,500 และ 10,000 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ทำการศึกษาผลของเคอร์คูมินอยด์ต่อการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงสีผิว และค่าโลหิตวิทยา

แผนการทดลอง

แผนการทดลองแบบ CRD (complete randomized design) โดยแบ่งการทดลองเป็น 5 ชุด การทดลอง ๆ ละ 6 ซ้ำ โดยระดับของขมิ้นชันที่แตกต่างกัน คือ

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารชุดควบคุมผสมสารสกัดขมิ้นชัน (เคอร์คูมินอยด์) 0
มก./1 กก.

ชุดการทดลองที่ 2 อาหารผสมสารสกัดขมิ้นชัน (เคอร์คูมินอยด์) 2,500 มก./1 กก.

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารผสมสารสกัดขมิ้นชัน (เคอร์คูมินอยด์) 5,000 มก./1 กก.

ชุดการทดลองที่ 4 อาหารผสมสารสกัดขมิ้นชัน (เคอร์คูมินอยด์) 7,500 มก./1 กก.

ชุดการทดลองที่ 5 อาหารผสมสารสกัดขมิ้นชัน (เคอร์คูมินอยด์) 10,000 มก./1 กก.

โดยมีสูตรอาหารดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบของอาหารปลาทองระยะเล็กที่ใช้เคอร์คูมินอยด์ผสมในระดับต่าง ๆ

วัตถุดิบ	ปริมาณวัตถุดิบในสูตรอาหารเคอร์คูมินอยด์ (มิลลิกรัม)				
	0	2,500	5,000	7,500	10,000
ปลาป่น	47	47	47	47	47
กากถั่วเหลือง	22	22	22	22	22
รำ	9	9	9	9	9
พรีมิกซ์	1	1	1	1	1
น้ำมันปลา	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
น้ำมันพืช	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
แป้งมันสำปะหลัง	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8
ไดแคลเซียมฟอสเฟต	1	1	1	1	1
คลอเลสเทอรอล	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
เลซิทิน	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
สารเหนียว	5	5	5	5	5
บีเอชที	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
เคอร์คูมินอยด์ (มิลลิกรัม)	0	2,500	5,000	7,500	10,000
รวม	100	100	100	100	100

หมายเหตุ พรีมิกซ์ 1 กิโลกรัมที่ใช้ประกอบด้วย vitamin A 7,000,000 IU; vitamin D3 1,400,000 IU; vitamin E 3 g; vitamin K₃ 10 mg; thiamine 20 mg; riboflavin 20 mg; niacin 150 mg; folic acid 5 mg; pyridoxine 20 mg; choline chloride 200 mg; vitamin B₁₂ 0.2 mg; biotin 2 mg; inositol 400 mg; Mg 25 mg; zinc 20 mg; copper 5 mg; iodine 5 mg; cobalt 0.05 mg; selenium 0.2 mg; iron 30 mg

ตารางที่ 5 โภชนะในอาหารที่ใช้เคอร์คูมินอยด์ผสมในระดับต่าง ๆ

วัตถุดิบ	ปริมาณวัตถุดิบในสูตรอาหารเคอร์คูมินอยด์ (มิลลิกรัม)				
	0	2,500	5,000	7,500	10,000
โปรตีน (%)	41.57	40.91	39.64	39.54	39.25
ไขมัน (%)	4.14	3.73	5.09	5.28	5.65
เยื่อใย (%)	4.40	4.55	4.97	4.41	4.18
เถ้า (%)	12.71	12.55	13.08	12.02	13.47
ความชื้น (%)	13.64	11.09	12.07	11.76	11.02
พลังงานย่อยได้ ^{1/} (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	2,374.52	2,409.40	2,423.53	2,481.17	2,486.60
เคอร์คูมิน (มก./ก.)	0	2.43	4.97	8.75	10.18

หมายเหตุ

^{1/} คำนวณโดยใช้สูตร $DE = (\% \text{โปรตีน} \times 3.5) + (\% \text{ไขมัน} \times 8.0) + (\% \text{NFEX} \times 2.5)$ (NRC, 1993)

สัตว์ทดลอง

ทดลองในปลาทอง (*Carassius auratus*) น้ำหนักเฉลี่ย 5 กรัม ที่ได้รับการฝึกกินอาหาร จมนาน 1 เดือน โดยใส่ตู้กระจกขนาด 0.45x0.35x0.61 ม³ จำนวนทั้งหมด 30 ตู้ ตู้ละ 5 ตัว ให้ปลาทองปรับตัวอยู่ในตู้กระจกนาน 1 สัปดาห์ ก่อนเริ่มการทดลองนำปลาทองตัวอย่างมาวัดสี เริ่มต้น โดยวัดสีด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter, Minolta color reader CR – 10) บริเวณสีแดง คือ ลำตัวด้านซ้าย และขวา อ่านค่าในระบบ CIE L*a*b* (CIELAB) ให้ใกล้เคียงกันทุกตัว แสดงใน ตารางที่ 6 โดยค่า L คือค่าความสว่างของสี a* คือค่าความเข้มแดงสีแดง b* คือค่าความเข้มแดงเหลือง C คือค่าความหนาแน่นของสี และ H คือตัวเลขที่ระบุตำแหน่งของสี

ตารางที่ 6 วิเคราะห์สี L*a*b บริเวณลำตัวปลาทองก่อนการทดลอง

ตำแหน่ง	ระดับคอรัณมินอยด์ในอาหาร(มิลลิกรัม)					P-value
	0	2,500	5,000	7,500	10,000	
ซ้าย	L 58.13 ± 8.47	56.63 ± 4.32	57.79 ± 4.08	57.08 ± 4.30	56.81 ± 3.15	0.76
	a 17.06 ± 6.22	17.92 ± 4.88	16.78 ± 3.29	18.89 ± 2.96	17.58 ± 3.41	0.37
	b 44.50 ± 6.27	45.61 ± 6.37	45.76 ± 4.87	45.11 ± 7.26	42.99 ± 4.75	0.38
	c 47.24 ± 7.67	50.07 ± 10.02	49.31 ± 5.63	48.73 ± 8.34	46.55 ± 4.09	0.34
	H 65.52 ± 7.46	64.92 ± 7.87	67.00 ± 6.51	63.70 ± 9.88	66.12 ± 4.60	0.51
ขวา	L 59.93 ± 6.90	58.64 ± 3.52	58.95 ± 4.55	57.68 ± 3.76	58.13 ± 4.12	0.42
	a 22.53 ± 6.41	22.16 ± 5.67	20.56 ± 8.61	22.11 ± 2.63	19.51 ± 3.73	0.21
	b 47.83 ± 5.58	46.75 ± 5.63	47.09 ± 11.74	46.93 ± 5.11	45.34 ± 6.13	0.76
	c 52.88 ± 6.54	51.94 ± 5.29	52.70 ± 5.59	52.96 ± 4.82	50.10 ± 3.45	0.19
	H 62.11 ± 8.24	65.21 ± 5.05	65.74 ± 9.33	63.85 ± 4.54	65.17 ± 5.30	0.24

การดำเนินการทดลอง

ให้อาหารปลาทอง 2 มื้อ เวลา 9.00 และ 16.00 น. ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ทำการทดลองเป็นเวลา 3 เดือน

การเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลคุณภาพอาหาร การเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงสีผิว และสุขภาพของปลาดังนี้

การเก็บข้อมูลคุณภาพอาหาร

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารแบบ proximate analysis โดยวิเคราะห์ความชื้น โปรตีน ไขมัน เกลือและเถ้า ตามวิธีของ A.O.A.C. (2000) และวัดปริมาณคอรัณมินอยด์ในวัตถุดิบขมิ้นชัน โดยวิธีของ International Organization for Standardization (1983) และ TLC เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต

ทำการเก็บข้อมูล โดยบันทึกค่าดังนี้

1. การเจริญเติบโต
 - 1.1 น้ำหนักเฉลี่ย
 - 1.2 น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย (weight gain: Wg)
 - 1.3 น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน (average daily weight gain: ADG)
2. ประสิทธิภาพการใช้อาหาร
 - 2.1 ปริมาณอาหารที่กิน (feed intake: FI)
 - 2.2 ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อตัว
 - 2.3 ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน
3. อัตราการเปลี่ยนอาหาร (feed conversion rate: FCR)
4. ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio: PER)

การเปลี่ยนแปลงสีผิว

ทำการวัดสีปลาด้วยเครื่อง spectocolourmeter 2 ตำแหน่ง ได้แก่ ส่วนหลังซ้ายและขวา

การเก็บข้อมูลสุขภาพปลา

ศึกษาองค์ประกอบของเลือดโดยวัดค่าฮีโมโกลบิน (hemoglobin) และเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดแดง (hematocrit) ด้วยการสุ่มเก็บตัวอย่างจากปลาซ้ำละ 3 ตัว จำนวน 0.5 มิลลิลิตร โดยเคลือบเข็มฉีดยาด้วย ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) ความเข้มข้นที่ระดับอิมมัว และตรวจวัดค่าฮีโมโกลบินและเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดแดงด้วยเครื่อง SYSMEX รุ่น SF 820

การทดลองที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยไขมันชั้นในปลาทอง

การศึกษาการประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบไขมันชั้น เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานความสามารถในการย่อยได้

สัตว์ทดลอง

ทดลองในปลาทอง (*Carassius auratus*) น้ำหนักเฉลี่ย 5 กรัม ที่ได้รับการฝึกกินอาหาร จมนาน 1 เดือน โดยใส่ตู้กระจกขนาด 0.45x0.35x0.61 ม³ จำนวนทั้งหมด 15 ตู้ ตู้ละ 10 ตัว ให้ปลาทองปรับตัวอยู่ในตู้กระจกนาน 1 สัปดาห์

การดำเนินการทดลอง

ให้อาหารปลาทองที่มีสูตรอาหารควบคุม ซึ่งมีโครมิกซ์ออกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ตามวิธีของ Schneider and Flatt (1975) 2 มื้อ และอาหารผสมไขมันชั้นที่ 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์และอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 5,000 และ 10,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เวลา 9.00 และ 16.00 น. ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำสัปดาห์ละ 2 ครั้ง เก็บมูลเป็นเวลา 14 วัน

บันทึกข้อมูล

เก็บมูลปลาทองหลังให้อาหาร 4 ชม. แล้วนำไปคำนวณ

ประสิทธิภาพการย่อยได้ (%)

$$= 100 \times \left(\frac{\frac{\% \text{เคอร์คูมินในอาหาร}}{\% \text{โครมิกซ์ออกไซด์ในอาหาร}} - \frac{\% \text{เคอร์คูมินในมูล}}{\% \text{โครมิกซ์ออกไซด์ในมูล}}}{\frac{\% \text{เคอร์คูมินในอาหาร}}{\% \text{โครมิกซ์ออกไซด์ในอาหาร}}} \right)$$

วิเคราะห์เพื่อหาปริมาณเคอร์คูมินในอาหาร โดยวิธี TLC

การวิเคราะห์สถิติ

เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธีของ Duncan's new multiple range test (อนันต์ชัย, 2539)

สถานที่และระยะเวลาการทําวิจัย

ทําวิจัยที่ภาคเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตั้งแต่ มีนาคม
2548- กันยายน 2548

ผลและการวิจารณ์

การทดลองที่ 1 ผลของการใช้ไขมันชั้นในอาหารระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโต กิจกรรมของ digestive enzyme ความหืนในเนื้อ และสุขภาพของปลาในสภาวะการเลี้ยงแบบปกติ และกิจกรรมของ oxidative enzyme ในสภาวะที่มีความเครียด

การทดลองที่ 1.1 ผลของการใช้ไขมันชั้นต่อการเจริญเติบโต กิจกรรมของ digestive enzyme ความหืนในเนื้อ และสุขภาพของปลา ในสภาวะการเลี้ยงแบบปกติ

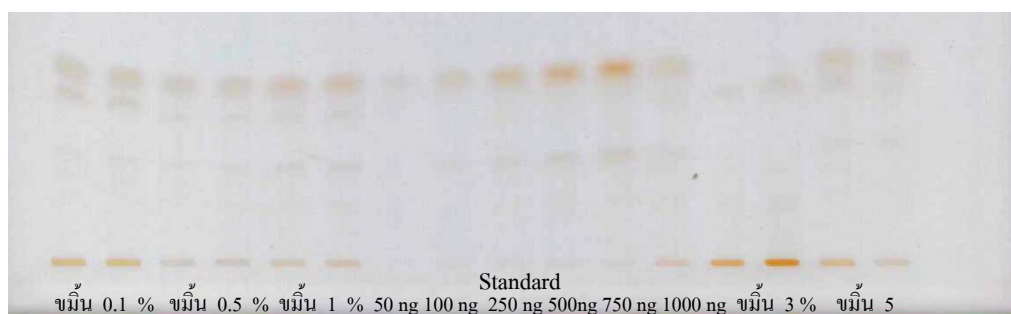
การศึกษาผลของไขมันชั้นต่อการเจริญเติบโต กิจกรรมของ digestive enzyme ความหืนในเนื้อ และสุขภาพของปลา โดยการใช้ไขมันชั้นที่ระดับ 0, 0.1, 0.5, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารปลาทอง ซึ่งมีปริมาณเคอร์คูมิน 0.00 ± 0.00 , 0.01 ± 0.00 , 0.04 ± 0.01 , 0.14 ± 0.01 , 0.23 ± 0.08 และ 0.54 ± 0.02 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ ดังตารางที่ 7 จากการทดลองเลี้ยงปลาทองขนาดเฉลี่ย 3.14 ± 0.05 กรัม/ตัว ด้วยอาหารระดับโปรตีน 40.61 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานที่ย่อยได้ $2,374.52 \pm 48$ กิโลแคลอรี/กิโลกรัม เป็นเวลา 30 วัน ผลการศึกษาในตารางที่ 8 พบว่าปลาทองมีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 6.50 ± 1.18 , 6.71 ± 1.43 , 6.87 ± 1.31 , 6.68 ± 1.29 , 6.48 ± 1.15 และ 6.59 ± 1.04 กรัม/ตัว ตามลำดับ การเลี้ยงด้วยอาหารผสมไขมันชั้นต่างระดับกันมีผลให้ปลาทองมีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นต่างระดับกัน มีผลให้น้ำหนักเพิ่มต่อวันแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าปลาทองกลุ่มทดลองอื่น ๆ ปลาทองมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ย 2.21 ± 0.29 , 2.11 ± 0.15 , 1.95 ± 0.17 , 1.98 ± 0.08 , 2.12 ± 0.19 และ 2.08 ± 0.10 ตามลำดับ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาทองที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมไขมันชั้นต่างระดับกัน มีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยปลาทองที่ได้รับอาหารที่ผสมไขมันชั้นที่ระดับ 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักสุดท้ายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) และสูงกว่าปลาทองกลุ่มทดลองอื่น ๆ ($P < 0.05$) ประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหารทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Samarasinghe and Wenk (2003) ในหนู พบว่าเมื่อให้อาหารผสมไขมันชั้น 1 กรัมต่อกิโลกรัม สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและอัตราแลกเนื้อ และจากการศึกษาของ Samarasinghe and Wenk (2002) ในไก่ พบว่า ไก่ที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมิน 1,000 ppm ระยะเวลา 4 สัปดาห์ ทำให้อัตราการแลกเนื้อต่ำสุด ซึ่งให้เห็นว่ามีอิทธิพลต่อการสร้างโปรตีน นอกจากนี้จากการศึกษาของสาโรช และคณะ (2547) ในสุกร เมื่อได้รับอาหารเสริมไขมันชั้นอย่างน้อย 0.15-0.25

เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโต และอัตราแลกเนื้อดีกว่ากลุ่มควบคุม โดยการเจริญเติบโตขึ้นอยู่กับ การย่อยและการขนส่งสารอาหาร โดยปัจจัยหลาย ๆ อย่างมีผลต่อระดับการย่อยอาหารอาจเป็น ตัวส่งเสริมหรือจำกัดการเจริญเติบโต ซึ่งประกอบด้วยประสิทธิภาพในการดูดซึมและประสิทธิภาพ การใช้อาหารซึ่งสัมพันธ์กับขนาดอาหารและคุณภาพ ประสิทธิภาพการดูดซึมอาหารและเปลี่ยน กลับขึ้นอยู่กับความสามารถของเอนไซม์ในการย่อยหรือการขนส่งของเซลล์อีพิเทลเลียของ ทางเดินอาหาร (Houlihan *et al.*, 1988) นอกจากนี้การศึกษาของ Chavalittumrong *et al.* (2002) ในหนูตัวผู้ พบว่าเมื่อรับเคอร์คูมินอยด์ 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน มีน้ำหนักมากกว่ากลุ่มควบคุม โดยหนูทั้งตัวเมียและตัวผู้ที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 250 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน มีการ สะสมไขมันในตับและต่อมหมวกไตส่วนคอร์เทกซ์ เมื่อพิจารณาค่าฮีมาโตคริต ฮีโมโกลบินและ จำนวนเม็ดเลือดแดง พบว่าการใช้ไขมันชั้นในอาหารปลาทองที่ระยะเวลา 30 วัน ไม่มีผลต่อ สุขภาพปลา โดยพบว่าค่าฮีมาโตคริต ฮีโมโกลบิน และจำนวนเม็ดเลือดแดงมีค่าไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ระหว่างปลากลุ่มควบคุมและปลากลุ่มที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้น สอดคล้องกับ การศึกษาของ Sambaiyah *et al.* (1981) ในหนู พบว่าหลังจากให้อาหารผสมไขมันชั้น 0.1, 0.2, 0.5, 1 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบความแตกต่างของฮีโมโกลบิน differential count และเม็ดเลือด แดง โดยมีค่าสูงเมื่อได้รับอาหารผสมไขมันชั้น 0.2 และ 1 เปอร์เซ็นต์ โดย 10 เปอร์เซ็นต์มีค่า ลดลง การกินอาหาร น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการกินอาหาร พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นในอาหารผสมไขมันชั้น 10 เปอร์เซ็นต์ และจากการศึกษาของชัยวัฒน์ (2546) ในไก่เนื้อ พบว่าหลังจากให้ไขมันชั้น 0.1-0.3 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบความแตกต่างทางโลหิตวิทยา

ตารางที่ 7 ปริมาณเคอร์คูมินในอาหาร

องค์ประกอบ	ระดับไขมันชั้นในอาหาร(เปอร์เซ็นต์)						p-Value
	0	0.1	0.5	1	3	5	
เคอร์คูมิน(มก./ก.)	0.00 ± 0.00 ^a	0.01 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.01 ^a	0.14 ± 0.01 ^b	0.23 ± 0.08 ^c	0.54 ± 0.02 ^d	0.00

หมายเหตุ abc อักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)



ภาพที่ 4 การแยกชนิดของเคอร์คูมินอยด์ในอาหารด้วยวิธี TLC

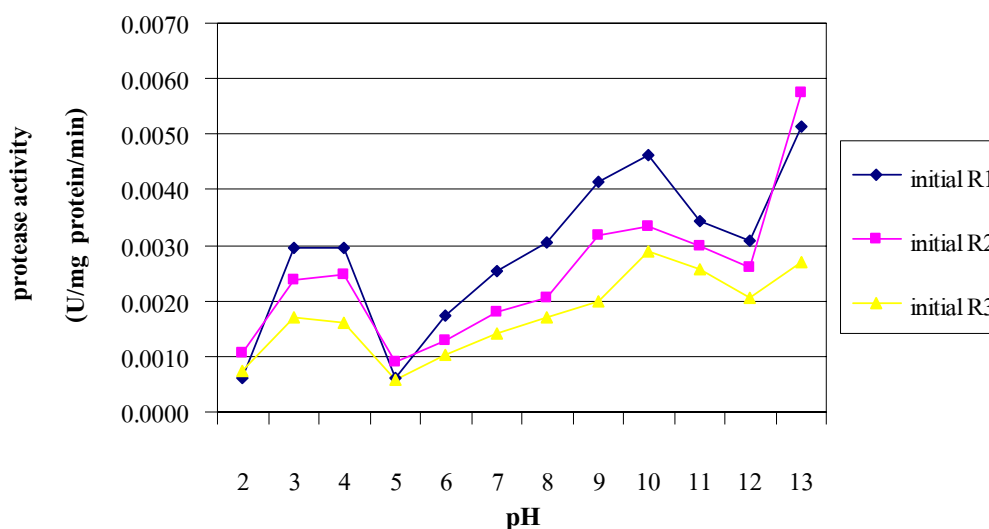
ตารางที่ 8 การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และสุขภาพของปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 1 เดือน (ค่าเฉลี่ย±SD)

ค่าที่ศึกษา	ระดับไขมันชั้นในอาหาร(เปอร์เซ็นต์)						P-value
	0	0.1	0.5	1	3	5	
ที่ระยะเวลา 30 วัน							
การเจริญเติบโต							
น้ำหนักเริ่มต้น(กรัม/ตัว)	3.17±0.55	3.09±0.51	3.14±0.51	3.14±0.45	3.14±0.41	3.19±0.41	0.67
น้ำหนักสิ้นสุด(กรัม/ตัว)	6.50±1.18	6.71±1.43	6.87±1.31	6.68±1.29	6.48±1.15	6.59±1.04	0.26
น้ำหนักเพิ่ม(กรัม/ตัว)	3.33±0.38 ^a	3.65±0.29 ^{ab}	3.72±0.34 ^b	3.54±0.18 ^{ab}	3.34±0.26 ^a	3.40±0.16 ^{ab}	0.11
น้ำหนักเพิ่มต่อตัวต่อวัน (กรัม/ตัว/วัน)	0.12±0.01 ^a	0.13±0.01 ^{ab}	0.13±0.01 ^b	0.13±0.01 ^{ab}	0.12±0.01 ^a	0.12±0.01 ^{ab}	0.11
ปริมาณอาหารที่กิน							
(กรัม/ตัว/วัน)	0.26±0.01 ^b	0.27±0.01 ^c	0.26±0.01 ^{ab}	0.25±0.01 ^a	0.25±0.01 ^{ab}	0.25±0.01 ^{ab}	0.00
อัตราการเปลี่ยนอาหาร							
(FCR)	2.21±0.29 ^b	2.11±0.15 ^{ab}	1.95±0.17 ^a	1.98±0.08 ^a	2.12±0.19 ^{ab}	2.08±0.10 ^{ab}	0.15
ประสิทธิภาพของอาหาร							
(FCE)	0.42±0.09 ^a	0.49±0.04 ^b	0.50±0.05 ^b	0.51±0.02 ^b	0.47±0.04 ^{ab}	0.49±0.03 ^b	0.04
โลหิตวิทยา							
ฮีมาโตคริต(เปอร์เซ็นต์)	33.03±6.77	39.08±6.85	36.48±3.12	35.48±8.08	29.93±16.76	33.98±10.04	0.82
ฮีโมโกลบิน							
(กรัม/เดซิลิตร)	12.75±2.26	13.15±2.11	12.78±0.30	12.03±2.33	13.93±1.25	12.30±1.66	0.73
จำนวนเม็ดเลือดแดง(10 ⁶							
เซลล์/มล.)	2.41±0.48	2.33±0.43	2.17±0.38	2.28±0.43	2.13±1.19	1.95±0.63	0.94

หมายเหตุ abc อักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

การศึกษาผลของขมิ้นชันต่อกิจกรรมของ digestive enzyme

เอนไซม์โปรติเอส

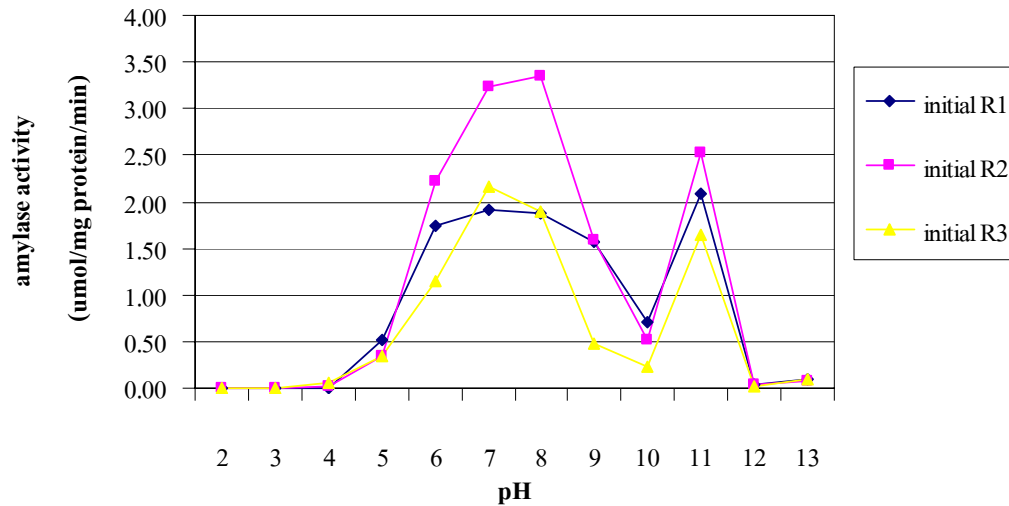


ภาพที่ 5 กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสที่ระดับพีเอช 2-13 ในปลาทอง เมื่อเริ่มการทดลอง

การศึกษาผลของขมิ้นชันต่อกิจกรรมของ digestive enzyme โดยนำตัวอย่างทางเดินอาหารทั้งหมดมาสกัดเอนไซม์แล้วศึกษากิจกรรมของเอนไซม์แต่ละชนิดพบว่าสภาวะพีเอชที่เหมาะสมของเอนไซม์แอซิดโปรติเอสในปลาทอง (ภาพที่ 5) คือพีเอช 3 และ 4 ส่วนสภาวะพีเอชที่เหมาะสมของเอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอสคือ 8-11 และ 13 เนื่องจากปลาทองเป็นปลาที่อยู่ในกลุ่มไซปรินิด ซึ่งไม่มีกระเพาะจึงไม่มีการย่อยอาหารเกิดขึ้นในกระเพาะอาหาร เนื่องจากไม่มีน้ำย่อยจากกระเพาะอาหาร แม้ว่าบริเวณลำไส้ส่วนต้นจะมีการพัฒนาเป็นถุง (intestinal bulb) ทำหน้าที่เสมือนกระเพาะเทียม (pseudo stomach) แต่ก็ไม่สามารถทำหน้าที่เสมือนกระเพาะจริง (true stomach) จึงมีการย่อยในลำไส้เท่านั้น ซึ่งมีสภาพเป็นกลางหรือด่างเล็กน้อย (วีระพงศ์, 2536) ในการศึกษาครั้งนี้พบว่ากิจกรรมของแอซิดโปรติเอสบ้าง แต่ระดับกิจกรรมไม่สูงเท่ากับอัลคาไลน์โปรติเอสเนื่องจาก เมื่ออาหารผ่านส่วนของกระเพาะเทียมแล้วจะมีการปรับสภาพเป็นกรดและมีแอซิดโปรติเอสมาช่วยย่อยบ้างแต่เมื่ออาหารที่เป็นกรดซึ่งอยู่ในรูป chyme จากทางเดินอาหารตอนต้นผ่านมายังทางเดินอาหารตอนกลางจะถูกปรับสภาพให้เป็นกลางซึ่งเป็นสภาพพีเอชที่เหมาะสมที่เอนไซม์ต่าง ๆ จะทำงานได้ (ปนัดดา, 2546) บทบาทของเปปซินทดแทนด้วยอัลคาไลน์โปรติเอส

ซึ่งทำงานในสภาวะเป็นด่าง (Silva and Anderson, 1995) โดยทั่วไปเอนไซม์โปรติเอสที่พบในฟิเอชเป็นกลาง (ฟิเอช 6.5-7.5) คือ คาร์บอกซีเปปติเดส เอ,บี (ปราณี, 2547) และการย่อยโปรตีนในช่วงปลาวัยอ่อนจะพบกิจกรรมของเอนไซม์อัลคาไลน์ทริปซินมากกว่าแอซิดิกเปปติเดส (Steffens, 1989) ส่วนฟิเอชที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของเอนไซม์ ทริปซินและไคโมทริปซินในปลากลุ่มไซพรีนิคอยู่ในช่วง 7.9-9.0 ในชั้นสเตรตต่าง ๆ ถึงแม้ว่าค่าฟิเอชในบางรายงานอาจมีค่าแตกต่างกันบ้าง โดยส่วนใหญ่อยู่ในช่วงฟิเอช 6.3-9.2 เมื่อเทียบกับการศึกษาของ Hidalgo *et al.* (1999) พบว่าในปลาทองขนาด 63.58 ± 10.92 กรัม กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสสูงสุดที่ฟิเอช 9 โดยมีค่า 2.01 ± 0.11 U/mg protein ซึ่งสูงกว่ากิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส (0.0031 ± 0.0011 U/mg protein/min) ในปลาทองขนาด 3.10 ± 1.90 กรัมของการศึกษาครั้งนี้ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการได้รับโภชนาที่ต่างกันและการศึกษาของ Kawai and Iheda (1972) ในปลาคาร์ฟพบวากิจกรรมของโปรติเอสในทางเดินอาหารและการเจริญเติบโตมีความสัมพันธ์กัน โดยการให้อาหารที่มีโปรตีนน้อย การทำงานของโปรติเอสจะต่ำและการเจริญเติบโตช้าลงด้วย จากการศึกษาพบว่า มีกิจกรรมสูงในหลายช่วงฟิเอช ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chiu and Pan (2002) พบว่าโปรติเอสที่พบในปลา ได้แก่ ทริปซิน ไคโมทริปซิน คอลลาจีเนส อีลาสเทส และคาร์บอกซีเปปติเดส จะสามารถพบได้แตกต่างกันไปในปลาแต่ละชนิด จึงทำให้ฟิเอชที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของเอนไซม์ในปลาแตกต่างกันหรือมีหลายช่วง นอกจากนี้การศึกษาของ Kuz'mina (1990) พบเอนไซม์โปรติเอสสูงในปลาที่ไม่กินสัตว์เนื่องจากโปรตีนในพืชนั้นย่อยยาก และแม้ว่าสัตว์กินพืชจะต้องการโปรตีนน้อยกว่าพวกกินสัตว์แต่ก็มีการใช้ประโยชน์โปรตีนได้ดี

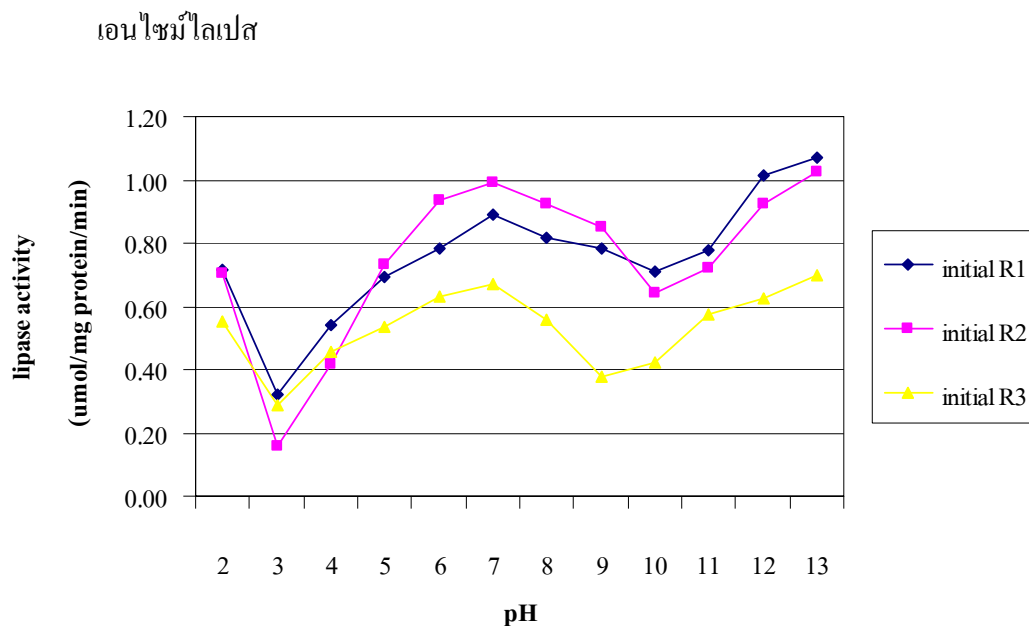
เอนไซม์อะไมเลส



ภาพที่ 6 กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลส ที่ระดับพีเอช 2-13 ในปลาทองเมื่อเริ่มการศึกษา

กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลส จากการศึกษพบว่าสภาวะพีเอชที่เหมาะสมของเอนไซม์นิวทริลอะไมเลสของปลาทอง (ภาพที่ 6) คือพีเอช 7 และ 8 ส่วนสภาวะพีเอชที่เหมาะสมของเอนไซม์อัลคาไลน์อะไมเลสคือ 11 แต่กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสมีค่าค่อนข้างต่ำ (0.90 ± 0.99 umol/mg protein/min) ส่วนการศึกษาของ Hidalgo *et al.* (1999) ในปลาทองขนาด 63.58 ± 10.92 กรัม ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลส มีค่าเท่ากับ 75.47 ± 15.76 U/mg protein กิจกรรมของเอนไซม์มีสาเหตุจากอาหารที่ได้รับมีความเข้มข้นโภชนะต่างกันจึงมีผลกระตุ้นการหลั่งเอนไซม์ต่าง ๆ ซึ่งอาจเกิดจากอายุและขนาดของปลาโดยค่ากิจกรรมของเอนไซม์จะเพิ่มขึ้นตามอายุของปลาและองค์ประกอบของอาหาร ดังเช่นการศึกษาของ Lundstedt *et al.* (2004) พบว่าสูตรอาหารที่ต่างกันมีผลให้การทำงานของเอนไซม์ต่างกัน ซึ่งการให้อาหารที่มีคาร์โบไฮเดรต 13-25 เปอร์เซ็นต์ของสูตรอาหารในปลา pintula (*Pseudoplatystoma corruscans*) วัยอ่อน มีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสสูงขึ้น ในระยะแรก จากนั้นปลาจะมีการปรับระดับกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสให้คงที่ไม่ว่าจะได้รับคาร์โบไฮเดรตในอาหารที่ระดับต่างกัน โดยเฉพาะปลากลุ่มไซปรีนิค ทั้งนี้เนื่องจากในปลานิลและปลาคาร์ฟมีตับอ่อนและลำไส้ตอนบน (duodenum) เป็นแหล่งสร้างเอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรต แต่ในปลากินเนื้อ เช่น ปลาเทราท์ ปลากะพง ตับอ่อนเป็นแหล่งสร้างเอนไซม์นี้เพียงแห่งเดียว จึงมีการผลิตได้น้อยกว่าปลากินพืชและปลากินทั้งพืชและสัตว์ (ประเสริฐ และคณะ, 2526) ปลาในกลุ่มไซปรีนิคจะมีการปรับระดับกิจกรรมของเอนไซม์

อะไมเลสให้สอดคล้องกับระดับคาร์โบไฮเดรตในอาหาร (Kawai and Ikeda, 1972) แต่จากรายงานของ Hofer (1982) พบว่ากิจกรรมที่วัดได้ในปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์กับปลาที่กินเฉพาะพืชอย่างเดียว เช่น ปลานิล ปลาการ์ฟ เป็นต้น มีกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสสูงกว่าปลากินพวกสัตว์อย่างเดียว



ภาพที่ 7 กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสที่ระดับพีเอช 2-13 ในปลาทองเมื่อเริ่มการศึกษา

จากการศึกษาพบว่าสภาวะพีเอชที่เหมาะสมของเอนไซม์ไลเปสในปลาทอง (ภาพที่ 7) คือ พีเอช 2, 6-8, 12 และ 13 โดยกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับการศึกษาของ Natalia *et al.* (2004) ในปลาอะโรวาน่าซึ่งอยู่ในกลุ่มปลากินเนื้อ พบว่าในลำไส้และกระเพาะอาหารกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสมีค่า 60.10 ± 5.40 และ 12.55 ± 3.15 $\mu\text{mol/mg protein/min}$ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของวีระพงศ์ (2536) ที่พบว่าปลากินเนื้อที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ย่อยไขมันมากกว่าปลากินแพลงก์ตอน ปลากินพืชและปลากินทั้งพืชและสัตว์ เนื่องจากปลากินเนื้อที่มีกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสต่ำ พลังงานที่ได้ส่วนใหญ่จึงมาจากไขมัน ดังนั้นจึงมีกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสสูงกว่าปลาทองซึ่งเป็นปลากินทั้งพืชและสัตว์ โดยไลเปสจะพบได้ทั้งในลำไส้ส่วนต้นและไพโลลิก คาเค และไลเปสที่บริเวณมิวโคซามีสภาวะพีเอชที่เหมาะสมคือ พีเอช 7 และ 7.5 (Silva and Anderson, 1995) และค่าพีเอชในกระเพาะอาหารลำไส้ส่วนต้น ส่วนกลาง และส่วนปลายของปลาการ์ฟมีค่าเท่ากับ 6.16 ± 0.08 , 6.14 ± 0.03 และ 6.02 ± 0.05

ตามลำดับ (Chakabarti *et al.*, 1999) ซึ่งทำให้ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสอยู่ในช่วงเป็นกลางและด่าง นอกจากนี้ Hidalgo *et al.* (1999) ทำการศึกษาในปลาเรนโบว์เทราท์ ปลาซันริม ปลาไหลยุโรป ปลาทอง ปลาคาร์ฟ พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์สูงในพีเอช กลางและด่าง

กิจกรรมของเอนไซม์ในทางเดินอาหารเมื่อได้รับอาหารผสมไขมันชั้นระดับต่าง ๆ

การศึกษาผลของไขมันชั้นต่อกิจกรรมของเอนไซม์ในทางเดินอาหารทั้ง 3 ชนิด คือ โปรติเอส อะไมเลส และไลเปส โดยการใช้ไขมันชั้นที่ระดับ 0, 0.1, 0.5, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ในอาหารปลาทอง โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสที่พีเอชต่าง ๆ ดังตารางที่ 9 พบว่าปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นระดับต่าง ๆ มีกิจกรรมของเอนไซม์แอซิดโปรติเอส (พีเอช 4) ได้แก่ 0.0027 ± 0.0003 , 0.0024 ± 0.0007 , 0.0020 ± 0.0003 , 0.0033 ± 0.0005 , 0.0021 ± 0.0005 และ 0.0024 ± 0.0010 U/mg protein/min ตามลำดับ ดังภาพที่ 8 โดยปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นต่างระดับกัน มีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์แอซิดโปรติเอสไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

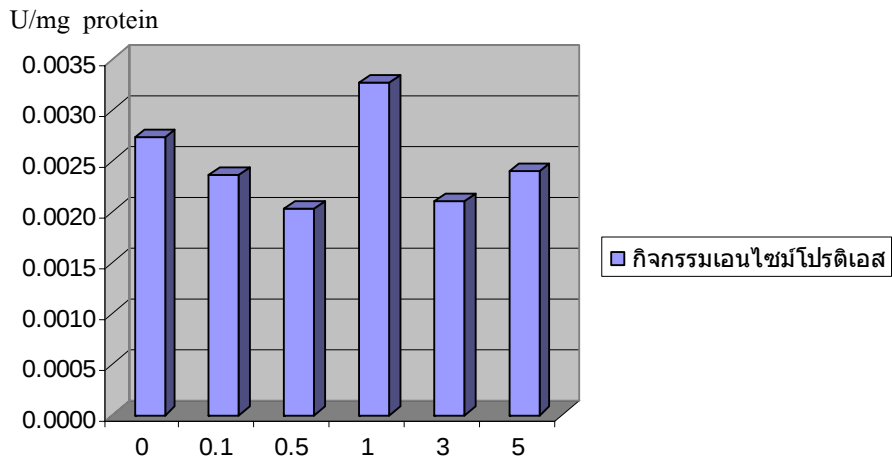
ปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นระดับต่าง ๆ มีกิจกรรมของเอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอส (pH 12) ได้แก่ 0.0029 ± 0.0007 , 0.0026 ± 0.0006 , 0.0024 ± 0.0010 , 0.0040 ± 0.0005 , 0.0021 ± 0.0001 และ 0.0031 ± 0.0006 U/mg protein/min ตามลำดับ ดังภาพที่ 9 โดยปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นต่างระดับกัน มีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอสแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งปลาทองที่ได้รับอาหารควบคุมและอาหารผสมไขมันชั้นที่ระดับ 1 และ 5 เปอร์เซ็นต์ มีกิจกรรมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) และปลาทองที่ได้รับอาหารควบคุมและอาหารผสมไขมันชั้นที่ระดับ 0.1, 0.5, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ มีกิจกรรมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ มีกิจกรรมสูงกว่าปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นที่ระดับ 0.1, 0.5 และ 3 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นการใช้ไขมันชั้นในอาหารปลาทองที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ย่อยโปรตีนในระบบทางเดินอาหารสูงขึ้นโดยมีผลต่อกิจกรรมของอัลคาไลน์โปรติเอสเท่านั้น

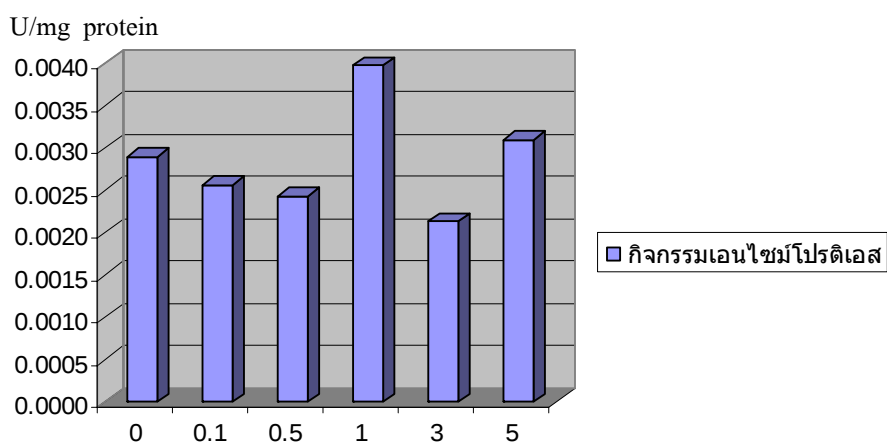
ตารางที่ 9 กิจกรรมของเอนไซม์โปรตีนส(U/mg protein/min) ที่ระดับพีเอช 2-13 ในปลาทอง

พีเอช	ระดับไขมันชั้นในอาหาร(เปอร์เซ็นต์)										P-value
	0	0.1	0.5	1	3	5					
2	0.0012 ± 0.0004	0.0008 ± 0.0002	0.0008 ± 0.0007	0.0009 ± 0.0001	0.0006 ± 0.0002	0.0008 ± 0.0002					0.49
3	0.0027 ± 0.0004 ^{bc}	0.0023 ± 0.0006 ^{abc}	0.0019 ± 0.0002 ^{ab}	0.0030 ± 0.0002 ^c	0.0016 ± 0.0002 ^a	0.0025 ± 0.0009 ^{abc}					0.04
4	0.0027 ± 0.0003	0.0024 ± 0.0007	0.0020 ± 0.0003	0.0033 ± 0.0005	0.0021 ± 0.0005	0.0024 ± 0.0010					0.19
5	0.0010 ± 0.0004	0.0007 ± 0.0002	0.0006 ± 0.0002	0.0010 ± 0.0001	0.0006 ± 0.0001	0.0005 ± 0.0002					0.06
6	0.0022 ± 0.0001 ^b	0.0013 ± 0.0004 ^a	0.0013 ± 0.0002 ^a	0.0022 ± 0.0006 ^b	0.0012 ± 0.0005 ^a	0.0018 ± 0.0003 ^{ab}					0.01
7	0.0026 ± 0.0003 ^{ab}	0.0019 ± 0.0006 ^a	0.0018 ± 0.0002 ^a	0.0029 ± 0.0006 ^b	0.0019 ± 0.0004 ^a	0.0023 ± 0.0006 ^{ab}					0.05
8	0.0032 ± 0.0001 ^{ab}	0.0023 ± 0.0007 ^a	0.0023 ± 0.0001 ^a	0.0036 ± 0.0005 ^b	0.0025 ± 0.0006 ^a	0.0030 ± 0.0007 ^{ab}					0.05
9	0.0039 ± 0.0003	0.0031 ± 0.0011	0.0030 ± 0.0004	0.0041 ± 0.0004	0.0029 ± 0.0008	0.0039 ± 0.0005					0.15
10	0.0043 ± 0.0006 ^{bc}	0.0036 ± 0.0009 ^{ab}	0.0034 ± 0.0005 ^{ab}	0.0050 ± 0.0005 ^c	0.0031 ± 0.0001 ^a	0.0045 ± 0.0008 ^{bc}					0.02
11	0.0038 ± 0.0004 ^{bc}	0.0030 ± 0.0004 ^{ab}	0.0026 ± 0.0009 ^a	0.0046 ± 0.0006 ^c	0.0029 ± 0.0004 ^{ab}	0.0037 ± 0.0005 ^{bc}					0.01
12	0.0029 ± 0.0007 ^{ab}	0.0026 ± 0.0006 ^a	0.0024 ± 0.0010 ^a	0.0040 ± 0.0005 ^b	0.0021 ± 0.0001 ^a	0.0031 ± 0.0006 ^{ab}					0.04
13	0.0047 ± 0.0007	0.0045 ± 0.0016	0.0030 ± 0.0009	0.0046 ± 0.0010	0.0042 ± 0.0002	0.0043 ± 0.0014					0.41

หมายเหตุ abc อักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p<0.05)



ภาพที่ 8 กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสที่วิเคราะห์ที่พีเอช 4.0



ภาพที่ 9 กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสที่วิเคราะห์ที่พีเอช 12.0

ปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นระดับต่าง ๆ มีกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสที่พีเอชต่าง ๆ ดังตารางที่ 10 โดยกิจกรรมของเอนไซม์นิวทรัลอะไมเลส (พีเอช 7) ได้แก่ 2.440 ± 0.703 , 1.820 ± 0.358 , 2.760 ± 1.639 , 3.340 ± 1.644 , 3.107 ± 0.972 และ 2.103 ± 0.179 $\mu\text{mol/mg protein/min}$ ตามลำดับ ดังภาพที่ 10 โดยปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นต่างระดับกัน มีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์นิวทรัลอะไมเลสไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

ปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นระดับต่าง ๆ มีกิจกรรมของเอนไซม์อัลคาไลน์อะไมเลส (พีเอช 12) ได้แก่ 0.027 ± 0.015 , 0.707 ± 1.164 , 1.687 ± 1.397 , 0.627 ± 0.818 , 0.140 ± 0.070

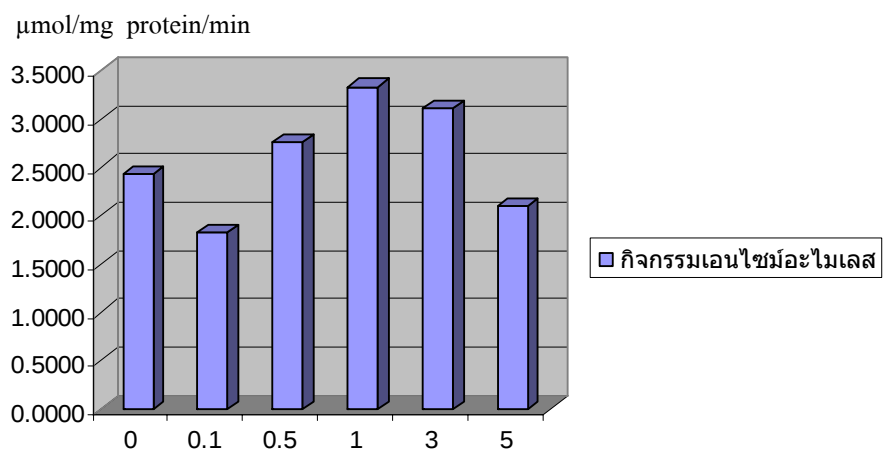
และ $0.817 \pm 1.184 \text{ } \mu\text{mol/mg protein/min}$ ตามลำดับ ดังภาพที่ 11 โดยปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นต่างระดับกัน มีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์อัลคาไลน์อะไมเลสไม่ต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

ดังนั้นการใช้ไขมันชั้นในอาหารปลาทองไม่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสในระบบทางเดินอาหาร

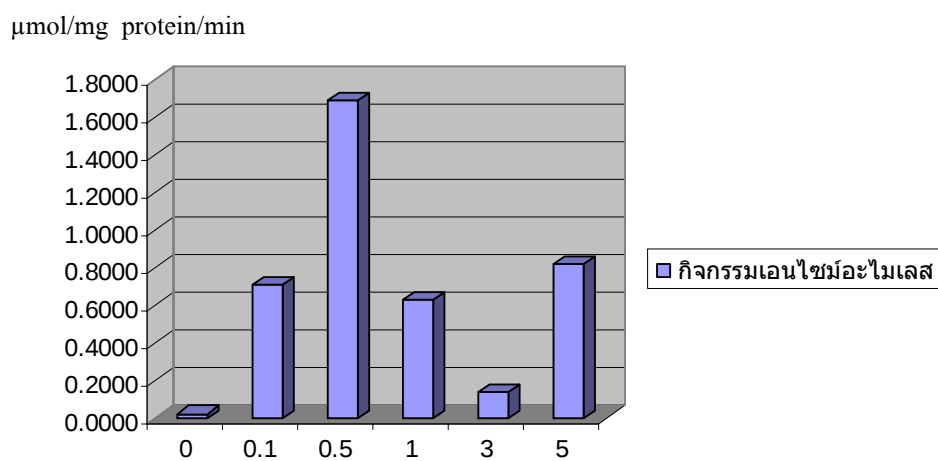
ตารางที่ 10 กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลส($\mu\text{mol/mg protein/min}$) ที่ระดับพีเอช 2-13 ในปลาทอง

พีเอช	ระดับขม้นชั้นในอาหาร(เปอร์เซ็นต์)														P-value
	0		0.1		0.5		1		3		5				
2	0.000	± 0.000	0.000	± 0.000	0.000	± 0.000	0.000	± 0.000	0.003	± 0.006	0.003	± 0.006	0.57		
3	0.000	± 0.000	0.000	± 0.000	0.000	± 0.000	0.000	± 0.000	0.003	± 0.006	0.007	± 0.012	0.55		
4	0.023	± 0.025	0.007	± 0.012	0.000	± 0.000	0.043	± 0.038	0.030	± 0.026	0.003	± 0.006	0.18		
5	0.400	± 0.095	0.313	± 0.300	0.663	± 0.100	0.397	± 0.127	0.367	± 0.081	0.413	± 0.266	0.32		
6	1.703	± 0.536	1.187	± 0.468	1.977	± 0.472	2.067	± 0.648	1.567	± 0.588	1.320	± 0.385	0.31		
7	2.440	± 0.703	1.820	± 0.358	2.760	± 1.639	3.340	± 1.644	3.107	± 0.972	2.103	± 0.179	0.52		
8	2.370	± 0.840	1.887	± 0.491	2.993	± 2.086	3.647	± 1.853	3.113	± 1.058	2.257	± 0.379	0.59		
9	1.217	± 0.638	0.850	± 0.719	2.263	± 0.885	1.273	± 0.093	0.933	± 0.211	0.960	± 0.675	0.12		
10	0.490	± 0.236	0.477	± 0.462	1.480	± 1.076	0.663	± 0.212	0.540	± 0.216	0.507	± 0.514	0.25		
11	2.083	± 0.435	1.703	± 0.447	2.740	± 1.464	3.200	± 1.526	2.283	± 0.645	1.610	± 0.376	0.35		
12	0.027	± 0.015	0.707	± 1.164	1.687	± 1.397	0.627	± 0.818	0.140	± 0.070	0.817	± 1.184	0.38		
13	0.090	± 0.017	0.063	± 0.078	0.017	± 0.029	0.087	± 0.107	0.050	± 0.026	0.007	± 0.012	0.40		

หมายเหตุ abc อักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p < 0.05$)



ภาพที่ 10 กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสที่วิเคราะห์ที่พีเอช 7.0



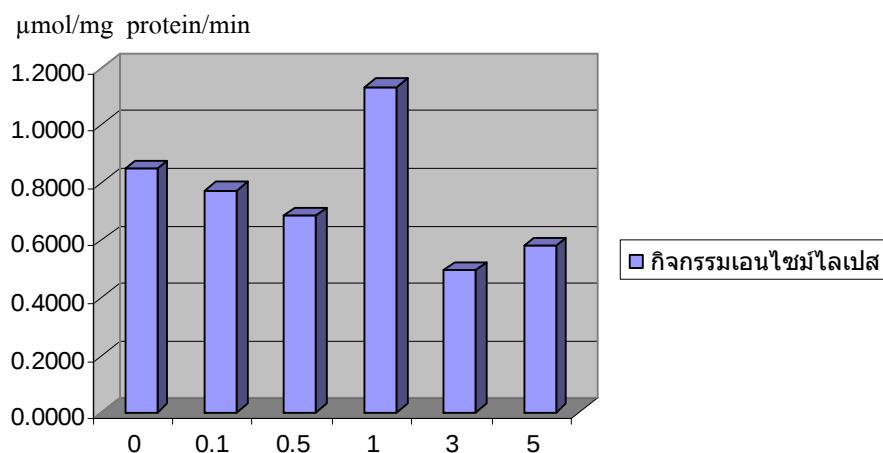
ภาพที่ 11 กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสที่วิเคราะห์ที่พีเอช 12.0

ปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นระดับต่าง ๆ มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสที่พีเอชต่าง ๆ ดังตารางที่ 11 โดยกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส (พีเอช 12) ได้แก่ 0.850 ± 0.204 , 0.773 ± 0.049 , 0.683 ± 0.076 , 1.133 ± 0.064 , 0.493 ± 0.012 และ 0.580 ± 0.017 $\mu\text{mol/mg protein/min}$ ตามลำดับ ดังภาพที่ 12 โดยปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นต่างระดับกัน มีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ มีกิจกรรมสูงกว่าปลาทองกลุ่มทดลองอื่น ๆ ($P < 0.05$) ปลาทองที่ได้รับอาหารควบคุมและอาหารผสมไขมันชั้นที่ระดับ 0.1 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นที่ระดับ 0.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นที่ระดับ 3 เปอร์เซ็นต์ มีกิจกรรมต่ำกว่าปลาทองกลุ่มทดลองอื่น ๆ

ตารางที่ 11 กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลส($\mu\text{mol/mg protein/min}$) ที่ระดับพีเอช 2-13 ในปลาทอง

พีเอช	ระดับไขมันชั้นในอาหาร(เปอร์เซ็นต์)														P-value
	0		0.1		0.5		1		3		5				
2	0.000	± 0.000	0.000	± 0.000	0.000	± 0.000	0.000	± 0.000	0.003	± 0.006	0.003	± 0.006		0.57	
3	0.000	± 0.000	0.000	± 0.000	0.000	± 0.000	0.000	± 0.000	0.003	± 0.006	0.007	± 0.012		0.55	
4	0.023	± 0.025	0.007	± 0.012	0.000	± 0.000	0.043	± 0.038	0.030	± 0.026	0.003	± 0.006		0.18	
5	0.400	± 0.095	0.313	± 0.300	0.663	± 0.100	0.397	± 0.127	0.367	± 0.081	0.413	± 0.266		0.32	
6	1.703	± 0.536	1.187	± 0.468	1.977	± 0.472	2.067	± 0.648	1.567	± 0.588	1.320	± 0.385		0.31	
7	2.440	± 0.703	1.820	± 0.358	2.760	± 1.639	3.340	± 1.644	3.107	± 0.972	2.103	± 0.179		0.52	
8	2.370	± 0.840	1.887	± 0.491	2.993	± 2.086	3.647	± 1.853	3.113	± 1.058	2.257	± 0.379		0.59	
9	1.217	± 0.638	0.850	± 0.719	2.263	± 0.885	1.273	± 0.093	0.933	± 0.211	0.960	± 0.675		0.12	
10	0.490	± 0.236	0.477	± 0.462	1.480	± 1.076	0.663	± 0.212	0.540	± 0.216	0.507	± 0.514		0.25	
11	2.083	± 0.435	1.703	± 0.447	2.740	± 1.464	3.200	± 1.526	2.283	± 0.645	1.610	± 0.376		0.35	
12	0.027	± 0.015	0.707	± 1.164	1.687	± 1.397	0.627	± 0.818	0.140	± 0.070	0.817	± 1.184		0.38	
13	0.090	± 0.017	0.063	± 0.078	0.017	± 0.029	0.087	± 0.107	0.050	± 0.026	0.007	± 0.012		0.40	

หมายเหตุ abc อักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p < 0.05$)



ภาพที่ 12 กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสที่วิเคราะห์ที่พีเอช 12.0

การทดลอง พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์แอซิดและอัลคาไลน์โปรติเอสมีค่าสูงในปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใช้ไขมันชั้นที่ระดับอื่น ๆ โปรติเอสมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ใส่ไขมันชั้น กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสมีค่าสูงในกลุ่มที่ได้รับไขมันชั้นน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ และมีกิจกรรมของเอนไซม์ต่ำลงในกลุ่มที่ได้รับไขมันชั้น 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Platel and Srinivasan (2004) ในหนูที่พบว่าไขมันชั้นจะสามารถช่วยกระตุ้นการหลั่งของไลเปส อะไมเลส และโปรติเอส โดยมีผลต่อการหลั่งในส่วนของมิวโคซา นอกจากนี้ยังกระตุ้นการหลั่งของน้ำดีและกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ในทางเดินอาหาร และในการศึกษาของ Platel and Srinivasan (1996, 2000a, 2000b) ในหนู พบว่าหลังจากให้อาหารผสมเคอร์คูมิน 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ สามารถเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส ไดแซคลาริเดส ซูเครส และมอลเตสในลำไส้เล็ก และกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส อะไมเลส ทริป ซิน และไลโมทริปซินจากตับอ่อน และจากการศึกษาของ Rao *et al.* (2003) ในหนู พบว่าสามารถกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสและอะไมเลสจากตับและกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสไม่แตกต่างกันในทุกชุดการทดลองทั้งนี้อาจเกิดขึ้นจากองค์ประกอบของอาหาร ดังการศึกษาของ Steffens (1989) ในปลาคาร์ฟ พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบในอาหาร กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสจะลดลงสัมพันธ์กับการลดลงของปลาป่นในอาหาร ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณแป้งในอาหารขึ้นเพิ่มด้วย โดยองค์ประกอบของอาหารปลาจะมีผลต่อปริมาณและการทำงานของเอนไซม์ในระบบย่อยอาหาร เมื่อปลากินอาหารที่มีโปรตีนสูงหรือไขมันสูง ร่างกายก็จะผลิตน้ำย่อยที่ใช้ย่อยไขมันหรือโปรตีนใน

ปริมาณที่เพิ่มขึ้นกว่าปกติ และเช่นเดียวกัน ถ้าอาหารนั้นมีแป้งมากก็จะผลิตน้ำย่อยแป้งออกมามากด้วย ในกรณีที่องค์ประกอบของอาหารนั้นมีแป้งในปริมาณสูงมากและมีปลาปนน้อย ประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีนจะลดต่ำลง (ประเสริฐ และคณะ, 2526) แม้ว่าปลาทองเป็นปลากินพืชและปลากินทั้งพืชและสัตว์จะมีกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสสูงกว่าปลาที่กินสัตว์อย่างเดียว (Hidalgo *et al.*, 1999) และจากการศึกษาของ Nagayama and Saito (1968) ในปลาหลาย ๆ ชนิด พบว่า ปลาทองมีกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสสูงกว่าปลาคาร์ฟ ปลานิล ปลาเทราท์ และปลาไหล แต่กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสยังขึ้นกับปัจจัยอื่น ๆ โดยกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสในปลาเรนโบว์เทราท์ตอบสนองตามการให้อาหาร อุณหภูมิและความเค็มหรืออาหารโปรตีนสูง (Kawa and Ikeda, 1973) และแม้จะพบว่ากิจกรรมในทางเดินอาหารของปลากินพืชมีค่าสูง ได้แก่ โปรติเอส ไลเปส และอะไมเลส โดยมีกิจกรรมสูงกว่าปลากินสัตว์และพืช ก็ยังขึ้นกับพฤติกรรมการกินอาหารในธรรมชาติด้วย (Guillaume *et al.*, 1999) การศึกษานี้ใช้ทางเดินอาหารทั้งระบบอาจทำให้กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสไม่เด่นชัด ซึ่งการศึกษาของ Kawai and Ikeda (1971) ในปลาคาร์ฟซึ่งเป็นปลาในกลุ่มไซปรีนิด ซึ่งเป็นปลาที่ไม่มีกระเพาะ พบว่าอะไมเลสและมอลเทสมีกิจกรรมสูงในลำไส้ส่วนต้น ส่วนซูเครสมีกิจกรรมสูงในลำไส้ส่วนกลาง นอกจากนี้ไอโซฟลักซีมีบทบาทสำคัญต่อการย่อยอาหาร ซึ่งจะพบเอนไซม์อะไมเลสและไลเปส

การที่กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส ในปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ มีกิจกรรมสูงกว่าปลาทองกลุ่มทดลองอื่น ๆ เป็นผลจากไขมันชั้นช่วยในการหลั่งน้ำดีเพิ่มขึ้น (Deters *et al.*, 2000) โดยเฮอร์คูมินซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในไขมันชั้นสามารถช่วยเพิ่มการหลั่งของน้ำดี และมีผลต่อการหดตัวของกล้ามเนื้ออุ้งน้ำดี (Rasyid and Lelo, 1999) ซึ่งเป็นส่วนช่วยในการย่อยไขมัน และดูดซึม นอกจากนี้ยังกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหาร (Srinivasan, 2005) ดังการศึกษาของ Jentzsch *et al.* (1956) ในหนู พบว่าเมื่อให้เฮอร์คูมิน 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถเพิ่มน้ำดีได้ และการศึกษาของ Ranprasad and Sirsi (1956) ในสุนัข พบว่าหลังจากให้เฮอร์คูมิน 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะมีการหลั่งโซเดียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำดีที่ผลิตขึ้นจากตับ และเก็บสะสมในถุงน้ำดีมีองค์ประกอบของกรดแกลลิก ซึ่งเป็นตัวอิมัลซิไฟด์ไขมัน และแตกตัวให้อยู่ในรูปหยดน้ำมันเล็ก ๆ ซึ่งจะเพิ่มพื้นที่ผิวเมื่อทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ย่อยไขมันได้มากขึ้น (Silva and Anderson, 1995)

ผลของไขมันชั้นต่อค่าความหืน (TBARS) ของเนื้อปลาในสภาวะปกติ

การศึกษาการใช้ไขมันชั้นในอาหารปลาทองที่ระดับ 0, 0.1, 0.5, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ต่อค่าความหืนในเนื้อปลาในสภาวะปกติ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของไขมันชั้นในการลดการหืนของเนื้อปลา พบว่าค่าความหืนในสัปดาห์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 4.70 ± 0.30 , 4.40 ± 0.67 , 4.26 ± 0.01 , 4.06 ± 0.14 , 3.99 ± 0.33 และ 4.26 ± 0.16 มก./เนื้อเยื่อ 1 กรัม ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเท่ากับ 4.74 ± 0.14 , 4.39 ± 0.33 , 4.34 ± 0.49 , 4.44 ± 0.64 , 4.25 ± 1.02 และ 3.84 ± 0.02 มก./เนื้อเยื่อ 1 กรัม ตามลำดับ ดังตารางที่ 12 พบว่าการเลี้ยงด้วยอาหารผสมไขมันชั้นต่างระดับกันมิผลให้ค่าความหืนในเนื้อปลาทองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยการเกิด lipid peroxidation เป็นขบวนการแรกๆ ที่ชี้ให้เห็นถึงการเสื่อมลงของคุณภาพและเนื้อเยื่อส่วนกล้ามเนื้อ (Wilson *et al.*, 1976) จากการศึกษาพบที่ค่าความหืนในเนื้อไม่แตกต่างซึ่งอาจเกิดจากระดับไขมันในอาหารต่ำ ปลาจึงได้รับอาหารที่มีส่วนของไขมันที่ถูกลอกออกไคซ์น้อย จึงมีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม เนื่องจากการที่ปลาได้รับอาหารที่มีไขมันถูกลอกออกไคซ์จะทำให้ระดับ TBARS สูงขึ้น (Staprans *et al.*, 1994) อันเนื่องจากระยะเวลาในการเก็บ โครงสร้าง และชีวเคมีของเนื้อซึ่งจะแตกต่างกันไปตามขบวนการเมตาบอลิซึมและตำแหน่งของอวัยวะ (Spanier *et al.*, 1992) นอกจากนี้การสะสมของโปรตีนที่ถูกออกออกซิไคซ์ในปลาเพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น และจะลดลงเมื่อมีองค์ประกอบของวิตามินซีและ lipophilic antioxidant (CoQH_2 , CoQ และวิตามินอี) ในเนื้อเยื่อส่วนกล้ามเนื้ออย่างไรก็ตาม จะไม่สัมพันธ์กับส่วนของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระและระดับ GSH (Passi *et al.*, 2004) ค่าความหืน (TBARS) มีความสัมพันธ์กับระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่นการศึกษาของ Tocher *et al.* (2002) ในปลา turbot, halibut และ sea bream พบว่า หลังจากให้อาหารที่มีส่วนผสมของวิตามินอีที่ระดับ 100, 1,000 และ 10,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลาที่ได้รับวิตามินอี 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะมีค่า TBARS ต่ำกว่ากลุ่มอื่น ๆ

ตารางที่ 12 ค่าความหืนในเนื้อของปลาทอง (มก./เนื้อเยื่อ 1 กรัม) ที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นที่ระดับต่าง ๆ ระยะเวลา 1 เดือน (ค่าเฉลี่ย±SD)

ลำดับที่	ระดับไขมันชั้นในอาหาร(เปอร์เซ็นต์)						P-value
	0	0.1	0.5	1	3	5	
2	4.70±0.30	4.40±0.67	4.26±0.01	4.06±0.14	3.99±0.33	4.26±0.16	0.44
4	4.74±0.14	4.39±0.33	4.34±0.49	4.44±0.64	4.25±1.02	3.84±0.02	0.72

การทดลองที่ 1.2 ผลของการใช้ไขมันชั้นต่อกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสในสภาวะที่มีความเครียด

การศึกษาผลของไขมันชั้นต่อกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสในสภาวะที่มีความเครียด โดยการใช้ไขมันชั้นที่ระดับ 0, 0.1, 0.5, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารปลาทองเป็นเวลา 1 เดือน จากนั้นนำปลามาเลี้ยงที่อุณหภูมิ 38°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จึงเริ่มเก็บตัวอย่าง พบว่าการเลี้ยงด้วยอาหารผสมไขมันชั้นต่างระดับกันมีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสปลาทองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ดังตารางที่ 13 ซึ่งโดยทั่วไปในสภาวะที่ทำให้เครียดโดยอุณหภูมิที่สูงขึ้น จะทำให้กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสที่ตับ หัวใจ และกล้ามเนื้อมีค่าสูง (Cassini *et al.*, 1993) เนื่องจากการที่อุณหภูมิสูงอย่างฉับพลันเป็นการทำให้เกิดภาวะเครียดต่อสัตว์ ซึ่งจะเพิ่มระดับของอนุมูลอิสระและมีอิทธิพลต่อเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ต่าง ๆ (Di Giulio *et al.*, 1989) โดยอุณหภูมิสูงจะทำให้โมเลกุลของอาหารในเซลล์กลายเป็นอนุมูลอิสระ (Simic *et al.*, 1992) กระตุ้นการหลั่งของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ต่าง ๆ เช่นการศึกษาใน soft clam (*M. arenaria*) พบว่าการเปลี่ยนอุณหภูมิ การทำให้เครียดด้วยความร้อนอย่างฉับพลัน โดยการย้ายจากแหล่งที่อยู่อาศัยที่อุณหภูมิต่ำกว่า 18°C ไปเป็น 25°C มีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสมีค่าสูงขึ้น (Abele *et al.*, 2002) แต่ในการศึกษาครั้งนี้พบว่ากิจกรรมไม่แตกต่างกันอาจเป็นเพราะมีเอนไซม์หลายตัวเข้าจับกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีโอกาสเข้าจับกับเอนไซม์อะไมเลส เปอร์ออกซิเดสและไลออล (Simic *et al.*, 1992) ซึ่งการทำงานของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับอนุมูลอิสระ โดยซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตสจะเข้าไปเปลี่ยน O_2^- ไปเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แล้วไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะถูกเอนไซม์อะไมเลส เปลี่ยนไปเป็นน้ำและออกซิเจน หรือถูกเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเปลี่ยนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นซัลฟิเตรอื่น ๆ (Cassini *et al.*, 1993) จึงทำให้ระดับกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสในแต่ละกลุ่มการทดลองที่

ได้รับไขมันชั้นระดับต่าง ๆ กันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) นอกจากนี้ระดับเอนไซม์ คีโตะเลสในกล้ามเนื้ออาจมีปริมาณน้อย เนื่องจากแต่ละอวัยวะก็มีกิจกรรมต่างกัน โดยเอนไซม์ คีโตะเลสจะพบได้ที่ peroxisome ในตับและไต รวมทั้ง micro peroxisome ในเนื้อเยื่อต่าง ๆ แต่ ไตและตับจะมีเอนไซม์คีโตะเลสสูงกว่าอวัยวะอื่น ๆ (Baskin and Salem, 1997) ทำให้ผลการศึกษา ในกล้ามเนื้อมีค่าไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 13 กิจกรรมของเอนไซม์คีโตะเลสของปลาทอง (U/mg protein/min) ที่ได้รับอาหารผสม ไขมันชั้นที่ระดับต่าง ๆ ระยะเวลา 1 เดือน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)

สัปดาห์ที่	ระดับไขมันชั้นในอาหาร(เปอร์เซ็นต์)						P-value	
	0	0.1	0.5	1	3	5		
เหงือก								
2	5.50±1.07	6.08±1.97	6.19±0.25	5.40±0.65	5.81±0.73	5.56±0.84	0.92	
4	5.22±0.11	4.97±0.11	5.51±0.35	5.25±0.26	5.36±0.50	5.41±0.36	0.42	
เนื้อ								
2	4.02±1.01	2.78±1.26	2.70±0.64	3.56±0.24	4.32±0.53	3.25±1.06	0.21	
4	4.13±0.98	3.99±0.75	3.60±0.47	4.53±0.69	3.84±0.69	3.73±0.21	0.62	

การทดลองที่ 2 ผลของเคอร์คูมินอยด์ในอาหารระดับต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงของสีผิว และสุขภาพของปลา

การศึกษาผลของเคอร์คูมินอยด์ซึ่งเป็นสารสีหลักในไขมันชั้นต่อการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงของสีผิว และสุขภาพของปลา โดยการใช้เคอร์คูมินอยด์ที่ระดับ 0, 2,500, 5,000, 7,500 และ 10,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในอาหารปลาทอง ซึ่งมีปริมาณเคอร์คูมิน 0.00 $\pm$ 0.00, 2.43 $\pm$ 0.01, 4.97 $\pm$ 0.36, 8.75 $\pm$ 0.21, 10.18 $\pm$ 0.01 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ ดังตารางที่ 14 จากการทดลองเลี้ยงปลาทองขนาดเฉลี่ย 3.61 $\pm$ 0.13 กรัม/ตัว ด้วยอาหารระดับโปรตีน 40.18 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานที่ย่อยได้ 2,435.04 $\pm$ 48.06 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม เป็นเวลา 30 วัน ผลการศึกษาใน ตารางที่ 15 โดยพบว่าปลาทองมีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 6.61 $\pm$ 0.45, 6.39 $\pm$ 0.49, 7.06 $\pm$ 0.31, 6.66 $\pm$ 0.76 และ 5.49 $\pm$ 0.44 กรัม/ตัว ตามลำดับ การเลี้ยงด้วยอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ต่าง ระดับกันมีผลให้ปลาทองมีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยและน้ำหนักเพิ่มต่อวันแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ซึ่งปลาทองที่ได้รับอาหารควบคุมและอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ที่ระดับ 2,500, 5,000 และ 7,500 มิลลิกรัม มีค่าสูงกว่าปลาทองกลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 10,000 มิลลิกรัม ทำให้กินอาหารลดลง จึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการตอบสนองภูมิคุ้มกันลดลง โดยปลาทองที่ได้รับอาหารควบคุมและอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ที่ระดับ 5,000 และ 7,500 มิลลิกรัม มีน้ำหนักสุดท้ายไม่แตกต่างกันทางสถิติ($P>0.05$) ปลาทองที่ได้รับอาหารควบคุมและอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ที่ระดับ 2,500 และ 7,500 มิลลิกรัม มีน้ำหนักสุดท้ายไม่แตกต่างกันทางสถิติ($P>0.05$) และสูงกว่าปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 10,000 มิลลิกรัม($P<0.05$) ปลาทองมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ย 1.90 ± 0.20 , 2.00 ± 0.20 , 1.83 ± 0.39 , 1.64 ± 0.38 และ 2.53 ± 0.50 ตามลำดับ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาทองที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ต่างระดับกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 10,000 มิลลิกรัม มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงกว่าปลากลุ่มทดลองอื่น ๆ ประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ต่างระดับกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 10,000 มิลลิกรัม ทั้งนี้เนื่องจากการใช้เคอร์คูมินอยด์ปริมาณมากในอาหารจะมีผลต่อกลิ่นของอาหาร ทำให้การยอมรับอาหารน้อยลง (ตารางที่ 10) เช่นเดียวกับในการศึกษาของมะลิ และคณะ (2547) ในกึ่งกุลาคำ ที่พบว่าการเสริมสารสกัดขมิ้นชันในปริมาณ 43.14 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ทำให้กลิ่น รส และเนื้อสัมผัสอาหารเสียไป กึ่งกินอาหารลดลง จึงมีผลให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำกว่าปลากลุ่มทดลองอื่น ๆ เมื่อพิจารณาค่าฮีมาโตคริต ฮีโมโกลบิน และจำนวนเม็ดเลือดแดง พบว่าการใช้เคอร์คูมินอยด์ในอาหารปลาทองที่ระยะเวลา 30 วัน ไม่มีผลต่อสุขภาพปลา โดยพบวาค่าฮีมาโตคริต ฮีโมโกลบิน และจำนวนเม็ดเลือดแดงมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ระหว่างปลากลุ่มควบคุมและปลากลุ่มที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์

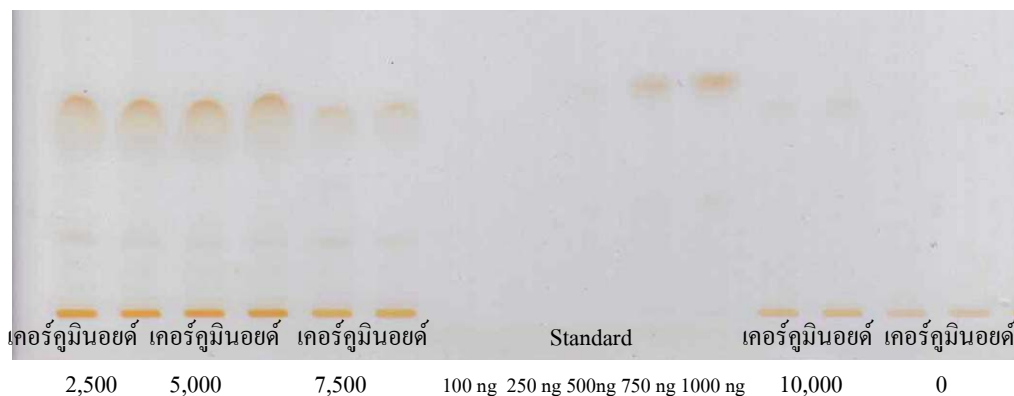
การใช้เคอร์คูมินอยด์ในปลาทอง ที่ระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับ 0, 2,500, 5,000, 7,500 และ 10,000 มิลลิกรัมมีผลให้การเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหาร และประสิทธิภาพการใช้อาหารแตกต่างกันทางสถิติ($p<0.05$) เช่นเดียวกับระยะ 30 วัน โดยปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 10,000 มิลลิกรัม มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงกว่าปลากลุ่มทดลองอื่น ๆ และมีประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำกว่าปลากลุ่มทดลองอื่น ๆ พบว่าการใช้เคอร์คูมินอยด์ในอาหารปลาทองที่ตลอดระยะเวลา 60 วัน ไม่มีผลต่อสุขภาพปลา โดยพบวาค่าฮีมาโตคริต ฮีโมโกลบิน และจำนวนเม็ดเลือดแดงมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ระหว่างปลากลุ่มควบคุมและปลากลุ่มที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Chavalittumrong *et al.*

(2002) ในหนู พบว่าเมื่อได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 10, 50 และ 250 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าทางโลหิตวิทยาใด ๆ และจากการศึกษาของ Sambaiah *et al.* (1981) ในหนู พบว่า เมื่อให้อาหารผสมไขมันชั้น 0.2-10 % และเคอร์คูมิน 2-0.1 % ไม่พบความแตกต่างทางโลหิตวิทยา ได้แก่ ฮีมาโตคริต จำนวนเม็ดเลือดแดง และจำนวนเม็ดเลือดขาว

ตารางที่ 14 ปริมาณเคอร์คูมินในอาหาร

องค์ประกอบ	ระดับเคอร์คูมินอยด์ในอาหาร(มิลลิกรัม/กิโลกรัม)					p-Value
	0	2500	5000	7500	10000	
เคอร์คูมิน(มก./ก.)	0.00 ± 0.00 ^a	2.43 ± 0.01 ^b	4.97 ± 0.36 ^c	8.75 ± 0.21 ^d	10.18 ± 0.01 ^e	0.00

หมายเหตุ abc อักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)



ภาพที่ 13 การแยกชนิดของเคอร์คูมินอยด์ในอาหารด้วยวิธี TLC

ตารางที่ 15 การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และสุขภาพของปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ที่ระดับต่าง ๆ (ค่าเฉลี่ย±SD)

ค่าที่ศึกษา	ระดับเคอร์คูมินอยด์ในอาหาร(มิลลิกรัม)					P-value
	0	2,500	5,000	7,500	10,000	
ระยะเวลา 30 วัน						
การเจริญเติบโต						
น้ำหนักเริ่มต้น(กรัม/ตัว)	3.74±0.28	3.54±0.16	3.76±0.21	3.48±0.49	3.52±0.15	0.31
น้ำหนักสิ้นสุด(กรัม/ตัว)	6.61±0.45 ^{bc}	6.39±0.49 ^b	7.06±0.31 ^c	6.66±0.76 ^{bc}	5.49±0.44 ^a	0.00
น้ำหนักเพิ่ม(กรัม/ตัว)	2.87±0.37 ^b	2.85±0.40 ^b	3.30±0.45 ^b	3.18±0.70 ^b	1.96±0.46 ^a	0.00
น้ำหนักเพิ่มต่อตัวต่อวัน						
(กรัม/ตัว/วัน)	0.10±0.01 ^b	0.10±0.02 ^b	0.12±0.02 ^b	0.12±0.02 ^b	0.07±0.02 ^a	0.00
ปริมาณอาหารที่กิน						
(กรัม/ตัว/วัน)	0.20±0.01 ^{bc}	0.20±0.02 ^c	0.21±0.01	0.18±0.02 ^{ab}	0.17±0.01 ^a	0.00
อัตราการเปลี่ยนอาหาร						
(FCR)	1.90±0.20 ^a	2.00±0.20 ^a	1.83±0.39 ^a	1.64±0.38 ^a	2.53±0.50 ^b	0.00
ประสิทธิภาพการใช้						
อาหาร(FCE)	0.29±0.03 ^b	0.29±0.01 ^b	0.30±0.03 ^b	0.30±0.04 ^b	0.24±0.02 ^a	0.00
โลหิตวิทยา						
ฮีมาโตคริต(เปอร์เซ็นต์)	38.58±10.59	39.04±3.56	35.50±8.51	42.11±6.37	32.70±4.63	0.44
ฮีโมโกลบิน						
(กรัม/เดซิลิตร)	14.22±2.46	13.62±2.15	14.58±2.99	14.33±0.83	11.75±2.29	0.43
จำนวนเม็ดเลือดแดง(10 ⁶						
เซลล์/มล.)	2.64±0.49	2.48±0.50	2.53±0.79	2.45±0.54	2.21±0.47	0.87

หมายเหตุ abc อักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 15 ต่อ

ค่าที่ศึกษา	ระดับเคอร์คูมินอยด์ในอาหาร(มิลลิกรัม)					P-value
	0	2,500	5,000	7,500	10,000	
ที่ระยะเวลา 60 วัน						
การเจริญเติบโต						
น้ำหนักสิ้นสุด(กรัม/ตัว)	8.64±0.54 ^{bc}	8.20±0.59 ^b	9.01±0.61 ^c	8.19±0.87 ^b	6.83±0.49 ^a	0.00
น้ำหนักเพิ่ม(กรัม/ตัว)	4.90±0.45 ^b	4.65±0.47 ^b	5.25±0.75 ^b	4.71±0.88 ^b	3.31±0.50 ^a	0.00
น้ำหนักเพิ่มต่อตัวต่อวัน (กรัม/ตัว/วัน)	0.09±0.01 ^b	0.09±0.01 ^b	0.10±0.01 ^b	0.09±0.02 ^b	0.06±0.01 ^a	0.00
ปริมาณอาหารที่กิน						
(กรัม/ตัว/วัน)	0.26±0.02 ^{ab}	0.25±0.02 ^{ab}	0.27±0.01 ^c	0.24±0.02 ^b	0.21±0.02 ^a	0.00
อัตราการเปลี่ยนอาหาร						
(FCR)	1.90±0.20 ^a	2.00±0.20 ^a	1.83±0.39 ^a	1.64±0.38 ^a	2.53±0.50 ^b	0.00
ประสิทธิภาพของอาหาร						
(FCE)	0.53±0.05 ^{bc}	0.50±0.05 ^{ab}	0.56±0.10 ^{bc}	0.64±0.15 ^c	0.41±0.08 ^a	0.01
โลหิตวิทยา						
ฮีมาโตคริต(เปอร์เซ็นต์)	36.40±4.36	33.06±5.32	36.56±5.87	34.22±8.62	35.11±10.10	0.95
ฮีโมโกลบิน						
(กรัม/เดซิลิตร)	13.50±1.81	10.72±2.29	12.75±1.79	13.65±3.92	13.50±2.98	0.52
จำนวนเม็ดเลือดแดง(10 ⁶						
เซลล์/มล.)	2.55±0.24	2.10±0.35	2.47±0.45	2.53±0.63	2.42±0.56	0.66

หมายเหตุ abc อักษรที่ต่างกันในแถวแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
($p < 0.05$)

ผลของเคอร์คูมินอยด์ต่อการเปลี่ยนแปลงสีปลาทอง

ตารางที่ 16 สีของปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ ที่อายุการเลี้ยง 2 สัปดาห์

ตำแหน่ง	ระดับเคอร์คูมินอยด์ในอาหาร(มิลลิกรัม)					P-value
	0	2,500	5,000	7,500	10,000	
L	59.61 ± 4.78	60.91 ± 4.51	60.62 ± 4.48	58.97 ± 2.90	58.88 ± 4.42	0.23
a	13.23 ± 2.88	14.44 ± 2.93	13.23 ± 3.23	14.17 ± 5.05	14.22 ± 3.26	0.53
ชาย	b 38.75 ± 5.43	^a 42.06 ± 7.24	^b 43.70 ± 3.71	^b 42.10 ± 5.35	^b 38.33 ± 7.75	^a 0.00
c	41.10 ± 4.60	^a 44.42 ± 7.73	^b 45.59 ± 4.19	^b 43.89 ± 5.72	^{ab} 42.61 ± 3.93	^{ab} 0.02
H	75.26 ± 7.74	^{ab} 71.59 ± 10.76	^a 76.76 ± 6.42	^b 71.40 ± 10.03	^{ab} 71.41 ± 5.28	^{ab} 0.03
L	59.44 ± 6.63	59.47 ± 5.90	62.74 ± 10.12	61.22 ± 4.67	59.98 ± 4.38	0.26
a	14.57 ± 5.04	15.76 ± 4.31	14.42 ± 4.81	13.83 ± 4.49	15.86 ± 6.26	0.44
ขาว	b 40.72 ± 6.16	41.69 ± 6.21	43.78 ± 6.74	43.36 ± 5.43	42.19 ± 4.76	0.26
c	42.94 ± 7.69	^a 44.20 ± 6.64	^{ab} 47.06 ± 5.65	^b 45.27 ± 5.14	^{ab} 44.77 ± 4.65	^{ab} 0.12
H	69.77 ± 10.57	69.76 ± 9.54	74.45 ± 11.53	73.44 ± 7.35	71.98 ± 7.63	0.20

หมายเหตุ abc อักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากการศึกษาค่าสีในระบบ CIE L*a*b* (CIELAB) โดยค่า L คือค่าความสว่างของสี a* ค่าความเข้มแดง และ b* ค่าความเข้มเหลือง หลังให้อาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 2 สัปดาห์ ทำการวัดความเข้มสีแดงที่บริเวณลำตัวด้านซ้าย พบว่าค่า L และ a* ของทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน (p>0.05) ส่วนค่า b* ในปลาทองที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุมและอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 10,000 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม จะมีค่า b* ต่ำเมื่อเทียบกับปลาทองในกลุ่มอื่น ๆ (p<0.05) โดยมีค่า 38.75±5.43 และ 38.33 ±7.75 ตามลำดับ ส่วนปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 2,500, 5,000 และ 7,500 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีค่า 42.06±7.24, 43.70±3.71 และ 42.10±5.35 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงสีบริเวณลำตัวด้านขาวพบว่าค่า L, a* และ b* ของทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน (p>0.05) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า a* เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ผิวหนังของปลาทองแสดงออกในเฉดสีแดง หากปลาทองมีค่า b* สูงกว่าค่า a* ผิวหนังของปลาทองจะแสดงออกในเฉดสีเหลือง (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 17 สีของปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ ที่อายุการเลี้ยง 4 สัปดาห์

ตำแหน่ง	ระดับเคอร์คูมินอยด์ในอาหาร(มิลลิกรัม)					P-value
	0	2,500	5,000	7,500	10,000	
ซ้าย	L 61.94 ± 4.90	62.08 ± 4.46	62.16 ± 2.67	62.89 ± 2.62	61.83 ± 3.81	0.84
	a 17.35 ± 4.41 ^b	15.81 ± 5.74 ^{ab}	16.26 ± 4.10 ^{ab}	14.71 ± 3.69 ^a	13.97 ± 3.60 ^a	0.03
	b 41.10 ± 5.84 ^a	41.46 ± 7.76 ^a	45.58 ± 4.64 ^b	42.20 ± 7.51 ^a	40.87 ± 3.90 ^a	0.02
	c 44.38 ± 6.35 ^{ab}	46.64 ± 7.81 ^{bc}	48.47 ± 4.86 ^c	45.42 ± 5.85 ^{abc}	43.28 ± 3.76 ^a	0.01
	H 67.35 ± 4.95 ^a	70.21 ± 5.53 ^b	70.48 ± 4.61 ^b	71.74 ± 3.95 ^b	70.90 ± 4.11 ^b	0.01
ขวา	L 62.02 ± 5.81	61.12 ± 3.55	61.37 ± 3.04	62.72 ± 5.13	61.81 ± 4.15	0.67
	a 16.07 ± 3.96	14.77 ± 5.14	15.77 ± 2.94	14.49 ± 3.68	14.27 ± 3.67	0.30
	b 37.51 ± 9.82 ^a	39.51 ± 6.72 ^{ab}	42.96 ± 5.51 ^b	36.90 ± 10.37 ^a	40.02 ± 7.09 ^{ab}	0.04
	c 43.47 ± 5.72 ^{ab}	42.70 ± 6.31 ^a	46.58 ± 3.56 ^b	43.79 ± 7.42 ^{ab}	43.81 ± 5.03 ^{ab}	0.10
	H 67.88 ± 6.14 ^a	69.92 ± 6.10 ^{ab}	69.33 ± 6.15 ^{ab}	71.73 ± 4.04 ^b	71.36 ± 4.14 ^b	0.04

หมายเหตุ abc อักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

หลังให้อาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 4 สัปดาห์ ทำการศึกษาความเข้มสีแดงที่บริเวณลำตัว ด้านซ้าย พบว่าค่าความสว่าง (L) ของทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน (p>0.05) ส่วนค่าความเข้มสีแดง (a*) ในปลาทองที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุมและอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 2,500 และ 5,000 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม จะมีค่า a* ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับปลาทองในกลุ่มอื่น ๆ (p>0.05) โดยมีค่า 17.35±4.41, 15.81 ±5.74 และ 16.26 ±4.10 ตามลำดับ โดยปลาทองที่ได้รับอาหารควบคุมมีค่าสูงกว่ากลุ่มปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 7,500 และ 10,000 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ซึ่งมีค่า a* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ(p>0.05) ส่วนค่าความเข้มสีเหลือง(b*)ในปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 5,000มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม จะมีค่า b* สูงกว่าเมื่อเทียบกับปลาทองในกลุ่มอื่น ๆ (p>0.05) โดยมีค่า 45.58±4.64 ส่วนปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 2,500, 7,500 และ 10,000 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีค่า 41.10±5.84, 41.46±7.76, 42.20±7.51 และ 40.87±3.90 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงสีบริเวณลำตัว ด้านขวาพบว่าค่า L และ a* ของทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน (p>0.05) ส่วนค่า b* ในปลาทองที่

ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 2,500, 5,000 และ 10,000 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม จะมีค่า b^* ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับปลาทองในกลุ่มอื่น ๆ ($p>0.05$) โดยมีค่า 39.51 ± 6.72 , 42.96 ± 5.51 และ 40.02 ± 7.09 ตามลำดับ โดยปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 5,000 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัมมีค่าสูงกว่ากลุ่มปลาทองที่ได้รับอาหารควบคุมและอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 7,500 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ซึ่งมีค่า b^* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า a^* เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ผิวหนังของปลาทองแสดงออกในเฉดสีแดง หากปลาทองมีค่า b^* สูงกว่าค่า a^* ผิวหนังของปลาทองจะแสดงออกในเฉดสีเหลือง (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 18 สีของปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ ที่อายุการเลี้ยง 6 สัปดาห์

ตำแหน่ง	ระดับเคอร์คูมินอยด์ในอาหาร					P-value
	0	2,500	5,000	7,500	10,000	
ซ้าย	L 63.61 ± 4.23	63.51 ± 4.95	62.39 ± 5.71	63.87 ± 4.23	62.87 ± 5.03	0.77
	a 21.10 ± 35.00 ^b	8.26 ± 5.01 ^a	10.70 ± 11.34 ^a	7.81 ± 4.53 ^a	9.00 ± 4.41 ^a	0.02
	b 41.60 ± 6.20 ^a	43.19 ± 6.83 ^{ab}	43.11 ± 5.92 ^{ab}	46.68 ± 4.49 ^c	45.87 ± 5.88 ^{bc}	0.01
	c 43.73 ± 6.70 ^a	42.35 ± 9.42 ^a	45.82 ± 5.20 ^{ab}	48.13 ± 5.37 ^b	47.73 ± 5.43 ^b	0.00
	H 71.51 ± 6.38 ^a	77.11 ± 8.32 ^b	78.18 ± 6.74 ^b	79.18 ± 6.57 ^b	79.01 ± 6.67 ^b	0.00
ขวา	L 63.38 ± 3.80	62.61 ± 8.59	63.68 ± 5.37	65.05 ± 7.15	64.77 ± 6.14	0.58
	a 14.74 ± 5.54	12.26 ± 7.44	13.33 ± 8.80	14.39 ± 7.77	16.28 ± 7.33	0.31
	b 40.66 ± 7.28 ^a	44.59 ± 9.50 ^{ab}	44.79 ± 9.49 ^{ab}	48.79 ± 5.74 ^b	47.85 ± 8.37 ^b	0.00
	c 43.44 ± 8.01 ^a	46.52 ± 9.94 ^a	47.52 ± 9.92 ^{ab}	52.62 ± 8.98 ^{bc}	51.67 ± 7.54 ^c	0.00
	H 70.21 ± 5.88 ^a	75.07 ± 7.74 ^b	73.94 ± 8.56 ^{ab}	75.27 ± 8.63 ^b	70.38 ± 9.26 ^a	0.03

หมายเหตุ abc อักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

หลังให้อาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 6 สัปดาห์ ทำการศึกษาความเข้มสีแดงที่บริเวณลำตัวด้านซ้าย พบว่าค่าความสว่าง (L) ของทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ส่วนค่าความเข้มสีแดง (a^*) ในปลาทองที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุม มีค่า a^* สูงเมื่อเทียบกับปลาทองในกลุ่มอื่น ๆ ($p<0.05$) โดยมีค่า 21.10 ± 35.00 ส่วนปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 2,500, 5,000,

7,500, และ 10,000 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีค่า 8.26 ± 5.01 , 10.70 ± 11.34 , 7.81 ± 4.53 และ 9.00 ± 4.41 ตามลำดับ ส่วนค่า ค่าความเข้มสีเหลือง (b^*) ในปลาทองที่ได้รับอาหารผสม เคอร์คูมินอยด์ 7,500 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม จะมีค่า b^* สูงเมื่อเทียบกับปลาทองในกลุ่มอื่น ๆ ($p < 0.05$) โดยมีค่า 46.68 ± 4.49 การเปลี่ยนแปลงสีบริเวณลำตัวด้านขวาพบว่าค่า L และ a^* ของทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ส่วนค่า b^* ในปลาทองที่ได้รับอาหารผสม เคอร์คูมินอยด์ 2,500, 5,000, 7,500 และ 10,000 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม จะมีค่า b^* ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับปลาทองในกลุ่มอื่น ๆ ($p > 0.05$) โดยมีค่า 44.59 ± 9.50 , 44.79 ± 9.49 , 48.79 ± 5.74 และ 47.85 ± 8.37 ตามลำดับ โดยปลาทองที่ได้รับอาหารผสม เคอร์คูมินอยด์ 7,500 และ 10,000 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัมมีค่าสูงกว่ากลุ่มปลาทองที่ได้รับอาหารควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า a^* เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ผิวหนังของปลาทองแสดงออกในเฉดสีแดง หากปลาทองมีค่า b^* สูงกว่าค่า a^* ผิวหนังของปลาทองจะแสดงออกในเฉดสีเหลือง (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 19 สีของปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ ที่อายุการเลี้ยง 8 สัปดาห์

ตำแหน่ง	ระดับเคอร์คูมินอยด์ในอาหาร(มิลลิกรัม)					P-value
	0	2,500	5,000	7,500	10,000	
ซ้าย	L 64.93 ± 3.09	62.92 ± 4.51	64.20 ± 7.19	64.20 ± 2.81	64.54 ± 4.08	0.55
	a 15.16 ± 5.08	16.81 ± 5.58	14.75 ± 5.24	15.08 ± 5.17	14.78 ± 4.24	0.51
	b 41.64 ± 4.43 ^a	42.80 ± 5.13 ^{ab}	45.51 ± 6.26 ^b	45.49 ± 4.82 ^b	44.75 ± 4.88 ^b	0.01
	c 44.36 ± 5.00 ^a	47.58 ± 10.92 ^{ab}	47.46 ± 8.28 ^{ab}	49.18 ± 6.31 ^b	46.99 ± 4.87 ^{ab}	0.19
	H 70.18 ± 5.96	68.98 ± 6.19	68.62 ± 14.85	72.31 ± 6.09	71.25 ± 4.51	0.41
ขวา	L 64.47 ± 2.97	64.53 ± 4.45	63.28 ± 3.59	64.32 ± 3.05	63.29 ± 3.53	0.45
	a 15.23 ± 5.08 ^a	18.69 ± 6.68 ^b	16.37 ± 5.25 ^{ab}	18.12 ± 5.35 ^{ab}	16.80 ± 4.41 ^{ab}	0.12
	b 41.49 ± 5.09 ^a	43.84 ± 4.77 ^a	47.03 ± 7.29 ^b	47.04 ± 5.53 ^b	43.21 ± 4.30 ^a	0.00
	c 44.38 ± 6.00 ^a	47.61 ± 5.24 ^b	49.26 ± 5.76 ^{bc}	50.71 ± 4.78 ^c	46.40 ± 4.43 ^{ab}	0.00
	H 70.19 ± 5.20	67.77 ± 5.69	66.41 ± 13.02	68.81 ± 5.59	68.09 ± 5.53	0.45

หมายเหตุ abc อักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

หลังให้อาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 8 สัปดาห์ ทำการศึกษาความเข้มสีแดงที่บริเวณลำตัว ด้านซ้าย พบว่าค่าความสว่าง (L) และความเข้มสีแดง (a^*) ของทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ส่วนค่าความเข้มสีเหลือง (b^*) ในปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 2,500, 5,000, 7,500 และ 10,000 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม จะมีค่า b^* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่า 42.80 ± 5.13 , 45.51 ± 6.26 , 45.49 ± 4.82 และ 44.75 ± 4.88 ตามลำดับ โดยปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 5,000, 7,500 และ 10,000 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีค่าสูงกว่าปลาทองที่ได้รับอาหารควบคุม การเปลี่ยนแปลงสีบริเวณลำตัวด้านขวาพบว่าค่า L ของทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ส่วนค่า a^* ในปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 2,500, 5,000, 7,500 และ 10,000 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม จะมีค่า a^* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่า 18.69 ± 6.68 , 16.37 ± 5.25 , 18.12 ± 5.35 และ 16.80 ± 4.41 ตามลำดับ โดยปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 2,500 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีค่าสูงกว่าปลาทองที่ได้รับอาหารควบคุม ส่วนค่า b^* ในปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 5,000 และ 7,500 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม จะมีค่า b^* สูงเมื่อเทียบกับปลาทองในกลุ่มอื่น ๆ ($p<0.05$) โดยมีค่า 47.03 ± 7.29 และ 47.04 ± 5.53 ตามลำดับ ส่วนปลาทองที่ได้รับอาหารควบคุมและอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 2,500 และ 10,000 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีค่า 41.49 ± 5.09 , 43.84 ± 4.77 และ 43.21 ± 4.30 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า a^* เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ผิวหนังของปลาทองแสดงออกในเฉดสีแดง หากปลาทองมีค่า b^* สูงกว่าค่า a^* ผิวหนังของปลาทองจะแสดงออกในเฉดสีเหลือง (ตารางที่ 19) การสะสมของสารสีบริเวณผิวหนังของปลานั้น จะมีการสะสมสารในกลุ่มคาโรทีนอยด์ในโครมาโตฟอร์ ซึ่งในปลาทองนั้นจะมีการสะสมสารแอสตาแซนทินในกลุ่มคาโรทีนอยด์ประมาณ 36 เปอร์เซ็นต์ (Masahiro, 1990) ดังนั้นสารเคอร์คูมินอยด์จึงไม่มีการสะสมในโครมาโตฟอร์ โดยทางด้านเภสัชวิทยาของสารเคอร์คูมินซึ่งเป็นสารสีหลักในเคอร์คูมินอยด์นั้น พบว่าเคอร์คูมิน 0.015 เปอร์เซ็นต์ที่ได้รับเข้าไปจะมีการสะสมในตับ ไตและไขมันในร่างกาย (Wahlstrom and Blennow, 1978) ซึ่งอาจมีการสะสมบริเวณไขมันได้ชั้นผิวหนังจึงทำให้เกิดสีเหลือง ซึ่งการศึกษาของซาโรซ และคณะ (2547) ในไก่ พบว่าเมื่อได้รับอาหารเสริมผงขมิ้นชันไม่เกิน 0.1 เปอร์เซ็นต์ของอาหารมีแนวโน้มให้ไข่แดงมีสีเข้มกว่ากลุ่มควบคุม การที่เคอร์คูมินอยด์มีผลให้เกิดความเข้มสีเพิ่มขึ้นในผิวปลาทองและไข่แดงได้นั้นอาจเนื่องจากคุณสมบัติของเคอร์คูมินอยด์นั้นยังเป็นสารแอนติออกซิเดนต์ซึ่งทำหน้าที่ในการป้องกันสารในกลุ่มคาโรทีนอยด์ เช่น แซนโทฟิลล์ ลูทีน เป็นต้น ซึ่งมีสีในโทนสีเหลือง ดังนั้นจึงทำให้ปลาทองมีเหลืองเมื่อได้รับเคอร์คูมินอยด์ ซึ่งการศึกษาค้นคว้าแตกต่างจากการศึกษาของ

Boonyaratpalin and Unprasert (1989) ซึ่งศึกษาในปลานิลแดง พบว่าปลาที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้น 10 เปอร์เซ็นต์ มีสีผิวไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ได้รับอาหารควบคุมโดยให้สีเเดดส้ม

การทดลองที่ 3 ผลของประสิทธิภาพการย่อยไขมันชั้นในปลาทอง

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยได้ของไขมันชั้นในปลาทอง โดยดูปริมาณเคอร์คูมินที่ย่อยได้ (ตารางที่ 20) พบว่าอาหารที่ผสมไขมันชั้นที่ระดับ 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพการย่อยได้คือ 79.75 ± 0.60 และ 71.79 ± 1.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่อาหารที่ผสมเคอร์คูมินอยด์ที่ระดับ 5,000 และ 10,000 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ถูกย่อยได้มากกว่าอาหารที่ผสมไขมันชั้นที่ระดับ 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีประสิทธิภาพการย่อยได้คือ 97.14 ± 0.31 และ 98.96 ± 0.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการย่อยดูดซึมไขมันชั้นที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์มีค่าต่ำกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ อาจเกิดจากปริมาณเยื่อใยในอาหารซึ่งเข้าไปขัดขวางการดูดซึมของโภชนะ ทำให้ประสิทธิภาพการย่อยได้ของเคอร์คูมินมีปริมาณลดลง จากการศึกษาของ Ravindranath and Chandrasekhare (1980) ในหนู พบว่าสามารถดูดซึมเคอร์คูมินได้ 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ในการศึกษานี้มีค่าสูงอาจเกิดจากเป็นสัตว์ต่างชนิดกัน ระยะเวลาการกินอาหาร และการเก็บมูลซึ่งทำให้สูญเสียโภชนะไปในน้ำ เนื่องจากการสูญเสียโภชนะเกิดขึ้นทันทีเมื่ออาหารลงสู่ น้ำ และสูญเสียมากขึ้นตามระยะเวลา (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) นอกจากนี้การใช้เวลาในการกินอาหารนานเกินไปทำให้อาหารสูญเสียทั้งน้ำหนักแห้งและปริมาณโภชนะ (Lovell, 1989) จึงทำให้ค่าที่ได้สูงกว่าการศึกษาในหนู

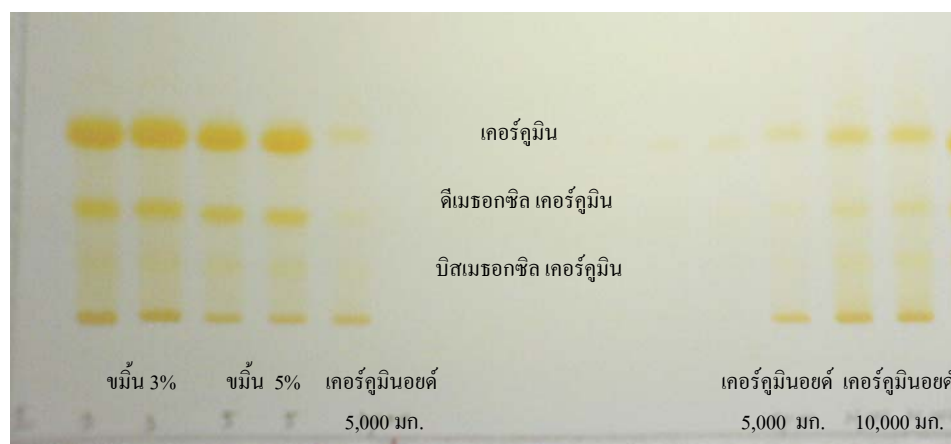
ตารางที่ 20 ปริมาณเคอร์คูมินในอาหารและมูล และประสิทธิภาพการย่อยได้ของเคอร์คูมินในปลาทอง

ค่าที่ศึกษา	อาหารทดลอง			
	ไขมันชั้น	ไขมันชั้น	เคอร์คูมินอยด์	เคอร์คูมินอยด์
	3%	5%	5,000 มก./กก.	10,000 มก./กก.
เคอร์คูมินในอาหาร (มก./ก.)	0.308±0.004	0.555±0.013	3.943±0.453	9.788±0.166
เคอร์คูมินในมูล (มก./ก.)	0.135±0.006	0.338±0.005	0.242±0.002	0.220±0.003
ประสิทธิภาพการย่อยได้ (%)	79.75±0.60	71.79±1.12	97.14±0.31	98.96±0.03

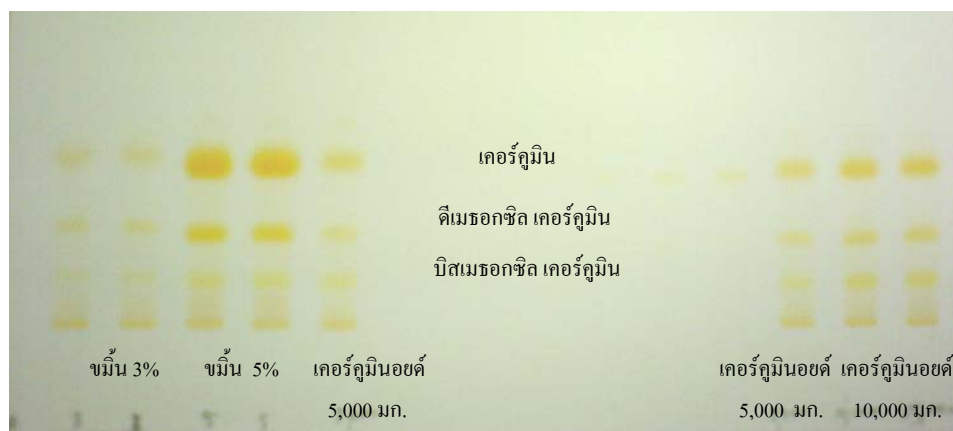
หมายเหตุ คำนวณจาก

ประสิทธิภาพการย่อยได้(%)

$$= 100 \times \left(\frac{\frac{\% \text{เคอร์คูมินในอาหาร}}{\% \text{โครมิกซ์ออกไซด์ในอาหาร}} - \frac{\% \text{เคอร์คูมินในมูล}}{\% \text{โครมิกซ์ออกไซด์ในมูล}}}{\frac{\% \text{เคอร์คูมินในอาหาร}}{\% \text{โครมิกซ์ออกไซด์ในอาหาร}}} \right)$$



ภาพที่ 14 การแยกชนิดของเคอร์คูมินอยด์ในอาหารด้วยวิธี TLC



ภาพที่ 15 การแยกชนิดของเคอร์คูมินอยด์ในมูลด้วยวิธี TLC

สรุปผลการทดลอง

1. ปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้นที่ 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มควบคุม
2. เมื่อให้อาหารผสมไขมันชั้น และอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ไม่มีผลต่อโลหิตวิทยา
3. ปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้น พบว่าสามารถกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์แอซิดโปรติเอส อัลคาไลน์โปรติเอส และไลเปส
4. ปลาทองที่ได้รับอาหารผสมไขมันชั้น พบว่าไม่มีผลในการลดความหืนในเนื้อ และลดกิจกรรมของเอนไซม์อะคะเตเลสในสภาวะกดดัน
5. ปลาทองที่ได้รับอาหารผสมเคอร์คูมินอยด์ 10,000 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีผลให้การเจริญเติบโตลดลง
6. เคอร์คูมินอยด์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของปลาทอง โดยสามารถทำให้สีผิวเกิดเฉดสีเหลือง