บทที่ 3

ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของปลาป่นที่เก็บรักษาในสภาพที่ต่างกัน

1.1 องค์ประกอบทางเคมี

โปรตีน ไขมัน เถ้า และความชื้นของปลาป่นที่เก็บรักษาโดยการเติมและไม่เติมสารกันหืนเก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง (27-32°ซ และมีความชื้นสัมพัทธ์) และอุณหภูมิ 4°ซ เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4

1.1.1 โปรตีน พบว่าการเติมสารกันหืน อุณหภูมิที่เก็บรักษาและระยะเวลาไม่มีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณโปรตีน ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ ห้องโดยไม่เติมสารกันหืนมีปริมาณโปรตีนลดลงตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา จาก 72.21±0.92% เมื่อเริ่มเก็บรักษาเป็น 67.96±0.20% เก็บไว้นาน 4.5 เดือน จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าการเติมสารกันหืนกับระยะเวลาการเก็บรักษามีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณโปรตีนของปลาป่น (ตารางที่ 5) นอกจากนี้อุณหภูมิกับระยะเวลามีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณโปรตีนเช่นกัน (ตารางที่ 6)

1.1.2 ไขมัน ปริมาณไขมันมีการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจนตลอดระยะ เวลาการเก็บรักษา โดยมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 10.88±0.13–11.66±0.09% เมื่อนำค่าเฉลี่ยไปวิเคราะห์ความแปรปรวนและความแตกต่างทางสถิติ พบว่าการเติมสารกันหืนกับระยะเวลามีอิทธิพลร่วมต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไขมัน (ตารางที่ 5) และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกันในระยะเวลาต่างกันส่งผลต่อปริมาณไขมันในปลาป่นเช่นกัน (ตารางที่ 6)

1.1.3 เถ้า มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากตลอดระยะการทดลอง และไม่พบความแตกต่างเนื่องจากการเก็บรักษาในสภาพต่างๆ กัน (ตารางที่ 4) แต่มีความต่างเนื่องจากระยะเวลาเก็บรักษา (ตารางที่ 7)

1.1.4 ความชื้น พบว่าปลาป่นที่เก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง (27-32°ซ) ทั้งเติมและไม่เติมสารกันหืน มีความชื้นเพิ่มขึ้นและเพิ่มสูงสุดในตัวอย่างที่ไม่เติมสารกันหืนที่เก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง (27-32°ซ) เป็นระยะเวลานาน 3 เดือน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 12.63±0.03% ($p<0.05$) ขณะที่ปลาป่นที่เก็บไว้ในอุณหภูมิ 4°ซ ทั้งเติมและไม่เติมสารกันหืน มีความชื้นสูงขึ้นจากเริ่มเก็บรักษา จนถึง 3 เดือน หลังจาก 3 เดือน จนถึง 4.5 เดือน ปลาป่นมีความชื้นค่อนข้างคงที่ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของปลาป่นที่เก็บรักษาในสภาพและระยะเวลาต่างกัน บนฐานน้ำหนักแห้ง

ปลาป่น	อุณหภูมิ (°ซ)	ระยะเวลา (เดือน)	องค์ประกอบทางเคมี[1]			
			โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เถ้า (%)	ความชื้น (%)
ไม่เติมสารกันหืน	27-32 (อุณหภูมิห้อง)	0	72.21±0.92	11.66±0.09	18.97±0.40	2.75±0.13[a2]
		1.5	71.10±0.50	11.38±0.11	18.16±0.17	7.41±0.15[e]
		3	70.64±0.08	11.23±0.05	18.02±0.0	12.63±0.03[j]
		4.5	67.96±0.20	11.05±0.07	18.62±0.07	8.74±0.05[g]
	4	0	72.21±0.92	11.66±0.09	18.97±0.40	2.75±0.13[a]
		1.5	70.87±0.28	11.12±0.07	18.34±0.28	4.44±0.11[b]
		3	70.14±0.30	11.40±0.03	17.99±0.10	8.48±0.13[f]
		4.5	69.86±0.17	11.19±0.03	18.43±0.04	8.40±0.07[f]
เติมสารกันหืน	27-32 (อุณหภูมิห้อง)	0	72.21±0.92	11.66±0.09	18.97±0.40	2.75±0.13[a]
		1.5	69.85±0.15	11.31±0.01	18.12±0.14	7.04±0.10[d]
		3	70.41±0.67	10.88±0.13	17.94±0.02	12.39±0.03[i]
		4.5	70.07±0.18	11.17±0.04	18.20±0.09	8.84±0.04[g]
	4	0	72.21±0.92	11.66±0.09	18.97±0.40	2.75±0.13[a]
		1.5	69.93±0.42	11.16±0.04	18.11±0.07	5.00±0.01[c]
		3	70.81±0.20	11.03±0.08	17.70±0.12	9.73±0.04[h]
		4.5	71.03±0.07	11.17±0.07	18.55±0.15	8.86±0.01[g]

[1] ค่าเฉลี่ยของ 6 ซ้ำ ± SD (ยกเว้นที่ 0 เดือนมี 3 ซ้ำ)

[2] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$)

ตารางที่ 5 โปรตีน และไขมันของปลาป่นที่มีความแตกต่างเนื่องจากการเติมสารกันหืนและระยะเวลาบนฐานของน้ำหนักแห้ง[1]

ตัวอย่าง	ระยะเวลา (เดือน)	โปรตีน (%)[2]	ไขมัน (%)
ไม่เติมสารกันหืน	0	72.21±0.92 [a]	11.66±0.08 [a]
	1.5	70.99±0.38 [b]	11.25±0.16 [bc]
	3	70.39±0.34 [bc]	11.32±0.10 [b]
	4.5	68.91±1.05 [d]	11.12±0.09 [c]
เติมสารกันหืน	0	72.21±0.92 [a]	11.66±0.08 [a]
	1.5	69.89±0.28 [c]	11.24±0.08 [bc]
	3	70.61±0.49 [bc]	10.95±0.12 [d]
	4.5	70.62±0.53 [bc]	11.17±0.52 [c]

[1] ค่าเฉลี่ยของ 12 ซ้ำ ± SD (ยกเว้นที่ 0 เดือนมี 3 ซ้ำ)

[2] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p< 0.05$)

ตารางที่ 6 โปรตีน และไขมันของปลาป่นที่มีความแตกต่างเนื่องจากอุณหภูมิและระยะเวลา บนฐานของน้ำหนักแห้ง[1]

ตัวอย่าง	ระยะเวลา (เดือน)	โปรตีน (%)[2]	ไขมัน (%)
27-32°c	0	72.21±0.92 [a]	11.66±0.08 [a]
	1.5	70.48±0.76 [b]	11.34±0.08 [b]
	3	70.53±0.44 [b]	11.06±0.21 [d]
	4.5	69.09±1.27 [c]	11.12±0.84 [c]
4°c	0	72.21±0.92 [a]	11.66±0.08 [a]
	1.5	70.40±0.60 [b]	11.14±0.05 [cd]
	3	70.48±0.43 [b]	11.21±0.21 [c]
	4.5	70.44±0.65 [b]	11.18±0.05 [cd]

[1] ค่าเฉลี่ยของ 12 ซ้ำ ± SD

[2] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p< 0.05$)

ตารางที่ 7 ปริมาณเถ้าของปลาป่น ที่เก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างกัน บนฐานของน้ำหนักแห้ง[1]

ระยะเวลา (เดือน)	เถ้า (%)[2]
0	18.97±0.40[a]
1.5	18.21±0.36[c]
3	17.99±0.26[d]
4.5	18.49±0.42[b]

[1] ค่าเฉลี่ยของ 24 ซ้ำ ± SD (ยกเว้นที่ 0 เดือนมี 3 ซ้ำ)

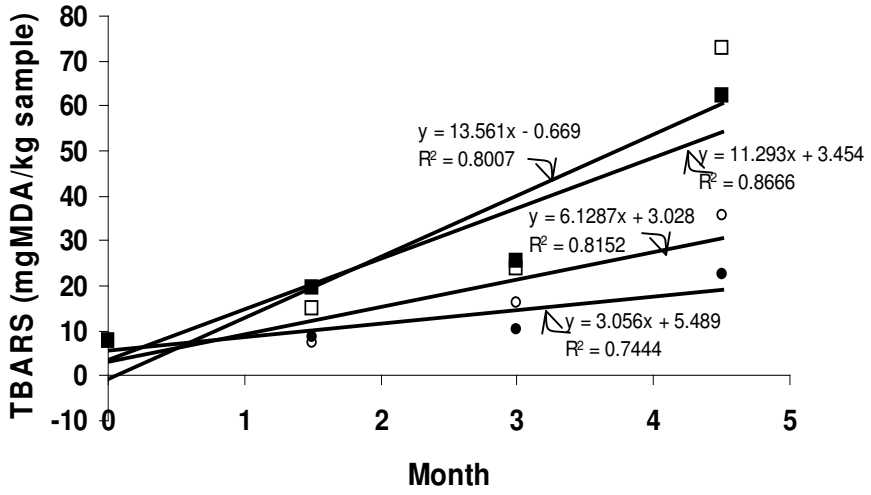
[2] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p< 0.05$)

1.2 คุณภาพทางเคมีของปลาป่น

ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) ค่าอะนิซิดีน (AnV) กรดไขมันอิสระ (FFA) และปริมาณไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVN) ของปลาป่นที่เก็บรักษาโดยการเติมและไม่เติมสารกันหืนที่อุณหภูมิห้อง และ 4°ซ ที่ระยะเวลาต่างกัน แสดงในตารางที่ 8 โดยปลาป่นที่ศึกษามีเกลือประกอบอยู่ 1.8±0.10%

1.2.1 ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) พบว่าปลาป่นในกลุ่มที่ไม่เติมสารกันหืนทั้งที่เก็บที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4°ซ มีค่าเปอร์ออกไซด์สูงขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บรักษา โดย เฉพาะในตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 4.5 เดือน มีค่าเปอร์ออกไซด์สูงสุดเท่ากับ 6.43± 0.53 meq/kg oil ($p<0.05$) ส่วนปลาป่นที่มีการเติมสารกันหืนทั้งที่เก็บที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4°ซ มีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานาน 1.5 เดือน หลังจากนั้นจะลดต่ำลงโดยตัวอย่างที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 3 เดือน มีค่าเปอร์ออกไซด์ลดลงต่ำสุดเท่ากับ 1.77±0.03 meq/kg oil ($p <0.05$) ส่วนการเติมสารกันหืนกับอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่มีอิทธิพลร่วมต่อค่าเปอร์ออกไซด์ (ตารางภาคผนวกที่ ข 1.5)

1.2.2 ระดับ TBARS พบว่าระดับ TBARS ของปลาป่นทั้งที่เติมและไม่เติมสารกันหืน และทั้งที่เก็บที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4°ซ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บรักษา (ภาพที่ 6) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 7.48±0.37 ถึง 72.78±0.90 mgMAD/kg sample และในตัวอย่างที่ไม่เติมสารกันหืนมีระดับ TBARS สูงกว่าในตัวอย่างที่เติมสารกันหืน โดยปลาป่นที่ไม่เติมสารกันหืนและเก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 4.5 เดือน มีระดับ TBARS สูงที่สุดเท่ากับ 72.78± 0.90 mgMAD/kg sample ($p<0.05$) รองลงมาเป็นปลาป่นที่ไม่เติมสารกันหืนเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 4.5 เดือนมีค่าเท่ากับ 62.31±0.62 mgMAD/kg sample



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ของระดับ TBARS ในปลาป่นที่เก็บรักษาในสภาพต่างกันกับระยะเวลาที่เก็บรักษา

■ = ตัวอย่างที่เก็บในอุณหภูมิห้อง (27-32°ซ) โดยไม่เติมสารกันหืน

□ = ตัวอย่างที่เก็บในอุณหภูมิ 4°ซ โดยไม่เติมสารกันหืน

● = ตัวอย่างที่เก็บในอุณหภูมิห้อง (27-32°ซ) โดยเติมสารกันหืน 200 ppm

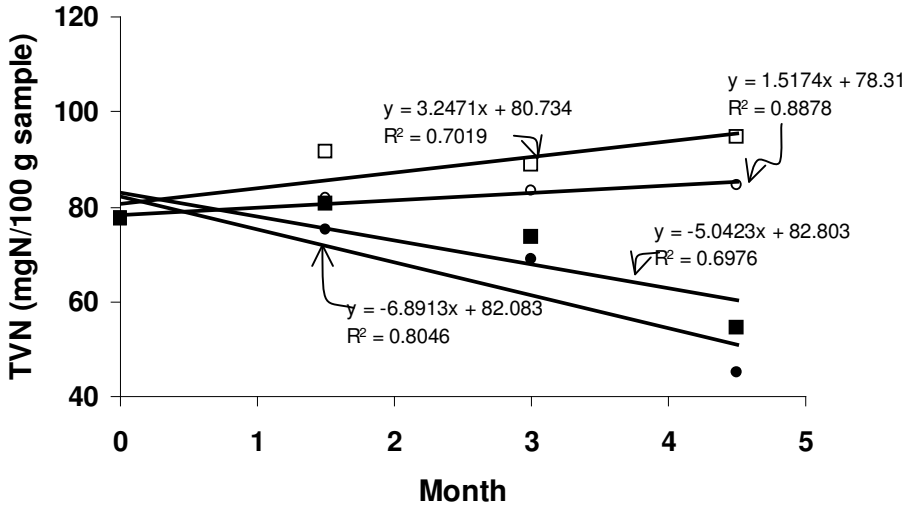
○ = ตัวอย่างที่เก็บในอุณหภูมิ 4°ซ โดยเติมสารกันหืน 200 ppm

1.2.3 ค่าอะนิซิดีน (AnV) พบว่าค่าอะนิซิดีนของปลาป่นที่ไม่เติมสารกันหืนทั้งที่เก็บที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4°ซ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาเก็บรักษา โดยปลาป่นที่เก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 4.5 เดือน มีค่าอะนิซิดีนสูงที่สุดเท่ากับ 36.87±0.79 Unit ($p<0.05$) ส่วนปลาป่นที่เติมสารกันหืนทั้งที่เก็บที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4°ซ มีค่าอะนิซิดีนเพิ่มขึ้นในช่วง 3 เดือน และลดต่ำลงเมื่อเก็บไว้นาน 4.5 เดือน ส่วนการเติมสารกันหืนกับอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่มีอิทธิพลร่วมต่อค่าอะนิซิดีน (ตารางภาคผนวกที่ ข 1.7)

1.2.4 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) พบว่าปลาป่นที่เติมสารกันหืนทั้งที่เก็บที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4°ซ มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ระยะเวลา 3 เดือน แต่จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บไว้นาน 4.5 เดือน โดยตัวอย่างที่เติมสารกันหืนเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 3 เดือน มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงที่สุดเท่ากับ 32.12±0.46% ($p<0.05$) รองลงมาเป็นตัวอย่างที่เติมสารกันหืนเก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 3 เดือน มีค่าเท่ากับ 27.58±0.27% ส่วนตัวอย่างที่ไม่เติมสารกันหืนและเก็บที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บ

รักษา ส่วนการเติมสารกันหืนกับอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่มีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณกรดไขมันอิสระ (ตารางภาคผนวกที่ ข 1.8)

1.2.5 ปริมาณไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVN) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 44.50±0.16 ถึง 94.52±0.21 mgN/100g sample โดยปลาป่นกลุ่มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ ทั้งที่เติมและไม่เติมสารกันหืนมีปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 7) โดยตัวอย่างที่ไม่เติมสารกันหืนเก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 4.5 เดือน มีปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 94.52±0.21 mgN/100g sample ($p<0.05$) ขณะที่ตัวอย่างที่เติมสารกันหืนที่เก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ ในระยะเวลาเดียวกัน มีปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ส่วนตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิห้องทั้งที่เติมและไม่เติมสารกันหืนมีปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมดค่อนข้างคงที่ในช่วง 1.5 เดือน แล้วลดลงเมื่อเก็บนานขึ้น โดยตัวอย่างที่เติมสารกันหืนที่เก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 4.5 เดือน มีปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมดลดลงต่ำสุดเท่ากับ 44.50±0.16 mgN/100g sample ($p< 0.05$)



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมดในปลาป่นที่เก็บรักษาในสภาพต่างกันกับระยะเวลาที่เก็บรักษา

■ = ตัวอย่างที่เก็บในอุณหภูมิห้อง (27-32°ซ) โดยไม่เติมสารกันหืน

□ = ตัวอย่างที่เก็บในอุณหภูมิ 4°ซ โดยไม่เติมสารกันหืน

● = ตัวอย่างที่เก็บในอุณหภูมิห้อง (27-32°ซ) โดยเติมสารกันหืน 200 ppm

○ = ตัวอย่างที่เก็บในอุณหภูมิ 4°ซ โดยเติมสารกันหืน 200 ppm

ตารางที่ 8 คุณภาพทางเคมีของปลาป่นที่เก็บรักษาในสภาพและระยะเวลาต่างกัน บนฐานของน้ำหนักแห้ง

ปลาป่น	อุณหภูมิ (°ซ)	ระยะเวลา (เดือน)	คุณภาพทางเคมี[1]				
			PV (meq/kg)	TBARS (mgMAD/kg)	AnV (Unit)	FFA(%)	TVN (mgN/100g)
ไม่เติมสารกันหืน	27-32	0	1.84±0.17^{ab}	7.87±0.60^{ab}	16.36±0.58^{a}	5.65±0.19^{a}	77.32±0.48^{f}[2]
		1.5	2.42±0.16^{d}	19.60±0.38^{f}	29.20±0.40^{g}	15.60±0.04^{e}	80.28±0.10^{g}
		3	2.79±0.19^{e}	25.67±0.30^{i}	28.80±0.63^{g}	17.46±0.25^{f}	72.87±0.51^{d}
		4.5	6.43±0.53^{h}	62.31±0.62^{k}	36.87±0.79^{h}	26.20±0.22^{h}	54.52±0.04^{b}
	4	0	1.84±0.17^{ab}	7.87±0.60^{ab}	16.36±0.58^{a}	5.65±0.19^{a}	77.32±0.48^{f}
		1.5	3.93±0.11^{f}	15.02±0.90^{d}	29.58±0.14^{g}	12.55±0.08^{c}	92.46±0.33^{l}
		3	3.98±0.11^{f}	23.70±0.10^{h}	25.69±0.75^{f}	15.24±0.34^{e}	88.72±0.16^{k}
		4.5	4.98±0.20^{g}	72.78±0.90^{l}	32.16±0.46^{g}	13.40±0.08^{d}	94.52±0.21^{m}
เติมสารกันหืน	27-32	0	1.84±0.17^{ab}	7.87±0.60^{ab}	16.36±0.58^{a}	5.65±0.19^{a}	77.32±0.48^{h}
		1.5	2.24±0.10^{cd}	8.59±0.28^{b}	25.69±0.32^{f}	15.62±0.18^{e}	76.21±0.87^{e}
		3	1.77±0.03^{a}	10.48±0.09^{c}	25.67±0.26^{f}	32.12±0.46^{j}	68.19±0.17^{c}
		4.5	2.15±0.03^{bcd}	22.52±0.88^{g}	20.55±0.20^{c}	22.63±0.42^{g}	44.50±0.16^{a}
	4	0	1.84±0.17^{ab}	7.87±0.60^{ab}	16.36±0.58^{a}	5.65±0.19^{a}	77.32±0.48^{f}
		1.5	3.67±0.93^{f}	7.48±0.37^{a}	21.78±0.71^{d}	12.25±0.02^{c}	81.53±0.31^{h}
		3	2.07±0.08^{abc}	16.37±0.42^{e}	23.88±0.22^{e}	27.58±0.27^{i}	83.70±0.20^{i}
		4.5	2.05±0.05^{abc}	35.55±0.18^{j}	17.85±0.47^{b}	11.48±0.17^{b}	84.81±0.26^{j}

[1] ค่าเฉลี่ยของ 6 ซ้ำ ± SD (ยกเว้นที่ 0 เดือนมี 3 ซ้ำ)

[2] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p< 0.05$)

1.3 สมบัติทางกายภาพของปลาป่น

ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของปลาป่นที่เก็บรักษาในสภาพต่างๆ กันเป็นระยะเวลานาน 4.5 เดือนได้ผลดังแสดงในตารางที่ 9

1.3.1 ค่า L^* จากการเก็บรักษาปลาป่นพบว่าค่า L^* ของตัวอย่างทั้งที่เติมและไม่เติมสารกันหืนเก็บที่อุณหภูมิห้องมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระยะเวลาที่เก็บรักษา โดยตัวอย่างที่เติมสารกันหืนและเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 4.5 เดือน มีค่า L^* สูงที่สุดเท่ากับ 48.64±0.28 ($p<0.05$) รองลงมาเป็นตัวอย่างที่ไม่เติมสารกันหืนที่เก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 4.5 เดือน (47.84±0.10) ในขณะที่ตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ ทั้งที่เติมและไม่เติมสารกันหืน มีค่า L^* ค่อนข้างคงที่

1.3.2 ค่า a^* พบว่าตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิห้องทั้งที่เติมและไม่เติมสารกันหืนมีค่า a^* เพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยตัวอย่างที่มีค่า a^* เพิ่มขึ้นสูงสุดมี 2 ตัวอย่าง คือตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิห้องทั้งตัวอย่างที่เติมและไม่เติมสารกันหืน โดยเฉพาะเมื่อเก็บนาน 4.5 เดือน มีค่าเท่ากับ 5.27±0.02 และ 5.27±0.01 ตามลำดับ ($p<0.05$) ในขณะที่ตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ ทั้งเติมและไม่เติมสารกันหืนมีค่า a^* ค่อนข้างคงที่

1.3.3 ค่า b^* พบว่าปลาป่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องทั้งที่เติมและไม่เติมสารกันหืนมีค่า b^* เพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดการเก็บรักษา โดยตัวอย่างที่ไม่เติมสารกันหืนเก็บที่อุณหภูมิห้อง นาน 3 เดือน มีค่า b^* เพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 22.60±0.54 ($p<0.05$) ขณะที่ตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ ทั้งที่เติมและไม่เติมสารกันหืนมีค่า b^* ลดลง โดยตัวอย่างที่ไม่เติมสารกันหืนและเก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 3 เดือนมีค่า b^* ลดลงต่ำสุดเท่ากับ 19.74±0.04 ($p<0.05$)

1.3.4 ค่า ΔE^*_{ab} ของตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิห้องทั้งที่เติมและไม่เติมสารกันหืนมีค่า ΔE^*_{ab} เพิ่มขึ้นโดยตัวอย่างที่เติมสารกันหืนและเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 4.5 เดือน มีค่า ΔE^*_{ab} สูงที่สุดเท่ากับ 3.05±0.16 ($p<0.05$) รองลงมาเป็นตัวอย่างที่ไม่เติมสารกันหืนและเก็บที่อุณหภูมิ ห้องนาน 3 เดือนมีค่าเท่ากับ 2.63±0.41 ซึ่งไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่เติมสารกันหืนและเก็บที่อุณหภูมิ ห้องนาน 4.5 เดือน (2.55±0.09) ขณะที่ตัวอย่างที่เติมสารกันหืนเก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 1.5 เดือนมีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยที่สุดคือ 0.22±0.09 ($p<0.05$)

ตารางที่ 9 สมบัติทางกายภาพของปลาป่น[1] ที่เก็บรักษาไว้ในสภาพและระยะเวลาต่างกัน

ปลาป่น	อุณหภูมิ (°ซ)	ระยะเวลา (เดือน)	สมบัติทางกายภาพ[2]			
			L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}
ไม่เติมสารกันหืน	27-32	0	46.19±0.04^{fg}	4.69±0.07^{ef}	20.06±0.21^{de}	-
		1.5	46.65±0.05^{ed}	5.01±0.02^{c}	21.35±0.04^{c}	1.5±0.05^{c}
		3	47.48±0.05^{b}	5.11±0.07^{b}	22.60±0.54^{a}	2.63±0.41^{b}
		4.5	47.84±0.10^{a}	5.27±0.02^{a}	21.90±0.05^{b}	2.55±0.09^{b}
	4	0	46.19±0.04^{fg}	4.69±0.07^{ef}	20.06±0.21^{de}	-
		1.5	46.59±0.17^{edf}	4.61±0.04^{f}	20.21±0.05^{d}	0.54±0.12^{f}
		3	46.15±0.04^{g}	4.43±0.03^{g}	19.74±0.04^{e}	0.47±0.08^{fg}
		4.5	47.17±0.20^{bc}	4.67±0.03^{ef}	19.93±0.04^{de}	0.99±0.20^{de}
เติมสารกันหืน	27-32	0	46.19±0.04^{fg}	4.69±0.07^{ef}	20.06±0.21^{de}	-
		1.5	46.84±0.11^{cd}	4.85±0.04^{d}	21.14±0.12^{c}	1.21±0.16^{d}
		3	47.53±0.16^{b}	4.94±0.07^{c}	21.28±0.09^{c}	1.74±0.16^{c}
		4.5	48.64±0.28^{a}	5.27±0.01^{a}	21.80±0.05^{b}	3.05±0.16^{a}
	4	0	46.19±0.04^{fg}	4.69±0.07^{ef}	20.06±0.21^{de}	-
		1.5	46.25±0.17^{fg}	4.60±0.03^{f}	20.05±0.03^{de}	0.22±0.09^{g}
		3	45.61±0.08^{h}	4.39±0.02^{g}	19.87±0.01^{de}	0.73±0.03^{ef}
		4.5	46.41±0.16^{efg}	4.74±0.01^{e}	19.91±0.10^{de}	0.47±0.00^{fg}

[1] ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ ± SD

[2] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p< 0.05$)

1.4 ปริมาณอีทอกซิควิน (ethoxyquin)

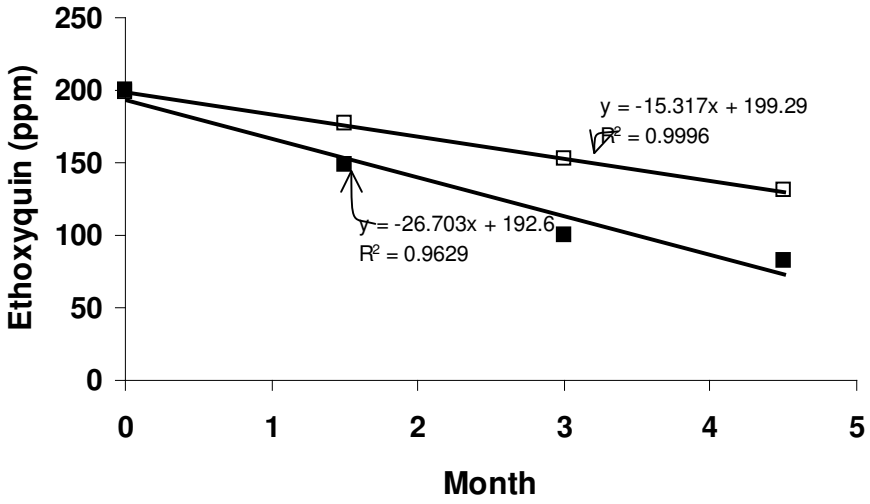
จากการทดลองเก็บรักษาปลาป่นโดยการเติมสารกันหืนอีทอกซิควินในปริมาณ 200 ppm และเก็บที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4°ซ ในระยะเวลาต่างๆ กัน พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษากับระยะเวลามีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณอีทอกซิควินในปลาป่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยมีปริมาณลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($R^2 = 0.9629$ และ $R^2 = 0.9996$ ตามลำดับ) (ภาพที่ 8) และพบว่าปลาป่นที่เก็บที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณอีทอกซิควินลดลงในอัตราสูงกว่าในปลาป่นที่เก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยมีปริมาณเหลือเพียง 40.89% ของปริมาณอีทอกซิควินเริ่มต้น ขณะที่ตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ มีปริมาณของอีทอกซิควินเหลือ 64.85% ของปริมาณอีทอกซิควินเริ่มต้น และตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 4.5 เดือน มีปริมาณอีทอกซิควินลดลงต่ำสุดเท่ากับ 81.60±0.39 ppm ($p<0.05$) (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ปริมาณอีทอกซีควินในปลาป่นที่เก็บรักษาในสภาพและระยะเวลาต่างกัน บนฐานน้ำหนักแห้ง

อุณหภูมิ (°ซ)	ระยะเวลา (เดือน)	ปริมาณอีทอกซีควิน (ppm)[1]	เปอร์เซ็นต์อีทอกซีควินต่ออีทอกซิควินเริ่มต้น
27-32 (อุณหภูมิห้อง)	0	199.54±0.26[a 2]	100
	1.5	148.60±0.40[d]	74.47
	3	99.50±0.99[f]	49.86
	4.5	81.60±0.39[g]	40.89
4	0	199.54±0.26[a]	100
	1.5	176.70±0.51[b]	88.55
	3	152.73±0.74[c]	76.54
	4.5	129.41±0.97[e]	64.85

[1] ค่าเฉลี่ยของ 12 ซ้ำ ± SD (ยกเว้นที่ 0 เดือนมี 3 ซ้ำ)

[2] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p< 0.05$)



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอีทอกซิควินในปลาป่นที่เก็บที่อุณหภูมิต่างกันกับระยะเวลาที่เก็บรักษา

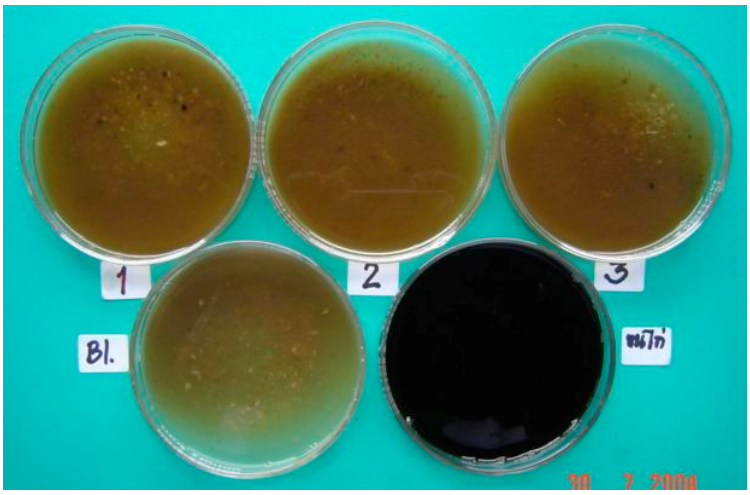
■ = ตัวอย่างที่เก็บในอุณหภูมิห้อง (27-32°ซ)

□ = ตัวอย่างที่เก็บในอุณหภูมิ 4°ซ

1.5 การตรวจสอบทางด้าน Feed microscopic techniques

จากการตรวจสอบทางเคมีอย่างง่ายและเทคนิคทางด้านกล้องจุลทรรศน์ ให้ผลดังนี้

1.5.1 การปลอมปนขนไก่ไฮโดรไลซ์ ผลการตรวจสอบพบว่าไม่มีการปลอมปนขนไก่ไฮโดรไลซ์ ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ผลการตรวจสอบการปลอมปนขนไก่ไฮโดรไลซ์ในปลาป่นที่ใช้ในการศึกษา

1 = ปลาป่นที่ใช้ในการศึกษา ซ้ำที่ 1, 2 = ปลาป่นที่ใช้ในการศึกษา ซ้ำที่ 2,

3 = ปลาป่นที่ใช้ในการศึกษา ซ้ำที่ 3

Bl = ปลาป่นที่เติมน้ำกลั่นแทนสารทดสอบเพื่อใช้เทียบสีธรรมชาติ

ขนไก่ = ปลาป่นที่เติมขนไก่ไฮโดรไลซ์ 10%

1.5.2 ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non protein nitrogen) พบว่าไม่มีไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนในปลาป่นดังภาพที่ 10

1 2 3

A

ภาพที่ 10 ผลการตรวจสอบ non protein nitrogen ในปลาป่นที่ใช้ในการศึกษา

1 = สารละลายปลาป่นที่ใช้ในการศึกษา

2 = เมื่อหยดสารทดสอบลงในสารละลายปลาป่นจะเกิดสีเหลืองอ่อนทันที (หากมีไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนอยู่ในปลาป่นจะเกิดเป็นสีส้มแดง ดัง A)

3 = สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีดำเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 3-5 วินาทีหลังจากหยดสารทดสอบ

1.5.3 การเสื่อมสภาพ (decomposition) ของปลาป่น ผลการตรวจสอบการเสื่อมสภาพของปลาป่นที่เก็บรักษาทั้งโดยการเติมและไม่เติมสารกันหืนเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและ 4°ซ ที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่าไม่เกิดการเสื่อมสภาพในปลาป่นตลอดทั้ง 3 เดือน และ 4.5 เดือน ดังแสดงในภาพที่ 11

3 เดือน

4.5 เดือน

ภาพที่ 11 ผลการตรวจสอบการเสื่อมสภาพในปลาป่นที่ใช้ในการศึกษา
กระดาษที่ใช้ในการทดสอบไม่เปลี่ยนเป็นสีดำ

NEA = ตัวอย่างที่เก็บในอุณหภูมิห้อง (27-32°ซ) โดยไม่เติมสารกันหืน

NER = ตัวอย่างที่เก็บในอุณหภูมิ 4°ซ โดยไม่เติมสารกันหืน

EA = ตัวอย่างที่เก็บในอุณหภูมิห้อง (27-32°ซ) โดยเติมสารกันหืน 200 ppm

ER = ตัวอย่างที่เก็บในอุณหภูมิ 4°ซ โดยเติมสารกันหืน 200 ppm

การทดลองที่ 2 ผลของปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในปลาป่นต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และพยาธิสภาพเนื้อเยื่อตับในกุ้งกุลาดำ

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง ดังในตารางที่ 11 มีระดับโปรตีน 45.38±0.99 ถึง 45.94±0.17% ไขมัน 7.69±0.20 ถึง 8.28±0.21% ขณะที่เถ้า 8.54±0.03 ถึง 9.30±0.03 % และความชื้น 5.02±0.01 ถึง 7.86±0.00%

ตารางที่ 11 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง บนฐานของน้ำหนักแห้ง[1]

สูตรอาหาร	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เถ้า (%)	ความชื้น (%)
1 (ชุดควบคุม)	45.38±0.99	8.01.±0.09	8.54±0.03	6.56±0.11
2 (ปลาป่นหืนน้อย)	45.94±0.17	8.28±0.21	8.55±0.06	5.02±0.01
3 (ปลาป่นหืนปานกลาง)	45.90±0.51	7.79±0.25	8.91±0.08	5.59±0.10
4 (ปลาป่นหืนมาก)	45.50±0.94	8.08±0.26	9.30±0.03	7.86±0.00
5 (ปลาป่นหืนมากที่สุด)	45.40±0.22	7.69±0.20	8.92±0.02	5.28±0.04

[1]ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ ± SD

2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหาร

องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 12 โดยมีระดับกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงอยู่ในช่วง 2.25 ถึง 2.63 กรัม/100 กรัมอาหาร และสัดส่วนระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงต่อกรดไขมันในอาหารทั้งหมดอยู่ในช่วงระหว่าง 0.4106 ถึง 0.4182

ตารางที่ 12 องค์ประกอบของไขมันในอาหารทดลอง 5 สูตร โดยวิธี GC

องค์ประกอบของไขมัน (กรัม/100 กรัม)		**สูตรอาหาร**				
		1 (ชุดควบคุม)	2 (ปลาป่นหืนน้อย)	3 (ปลาป่นหืนปานกลาง)	4 (ปลาป่นหืนมาก)	5 (ปลาป่นหืนมากที่สุด)
Lauric acid	C12:0	-	0.01	-	-	-
Myristic acid	C14:0	0.2	0.21	0.18	0.2	0.2
Pentadecanoic acid	C15:0	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06
Palmitic acid	C16:0	1.45	1.53	1.35	1.46	1.41
Palmitoleic acid	C16:1 n-7	0.22	0.23	0.19	0.23	0.23
Heptadecanoic acid	C17:0	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07
Stearic acid	C18:0	0.45	0.49	0.43	0.46	0.45
Oleic acid	C18:1 n-9	0.52	0.57	0.48	0.52	0.5
Cis-Vaccenic acid	C18:1 n-7	0.13	0.14	0.11	0.13	0.13
Linoleic acid	C18:2 n-6	1.04	1.15	0.99	1.03	1.01
a- Linolenic acid	C18:3 n-3	0.11	0.13	0.1	0.11	0.11
¡- Linolenic acid	C18:3 n-6	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
Moroctic acid	C18:4 n-3	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02
Arachidic acid	C20:0	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02
	C20:1 n-7	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

ตารางที่ 12 (ต่อ)

องค์ประกอบของไขมัน (กรัม/100 กรัม)		สูตรอาหาร				
		1 (ชุดควบคุม)	2 (ปลาป่นหืนน้อย)	3 (ปลาป่นหืนปานกลาง)	4 (ปลาป่นหืนมาก)	5 (ปลาป่นหืนมากที่สุด)
Cis-11-Eicosenoic acid	C20:1 n-9	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
Cis-11,14-Eicosadienoic acid	C20:2 n-6	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Arachidonic acid	C20:4 n-6	0.15	0.16	0.14	0.16	0.15
Eicosatetraenoic acid	C20:4 n-3	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
Cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid (EPA)	C20:5 n-3	0.22	0.23	0.19	0.22	0.2
	C21:5 n-3	-	0.01	-	-	-
Behenic acid	C22:0	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02
Erucic acid	C22:1 n-9		0.01	-	-	-
Docosatetraenoic acid	C22:4 n-6	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Docosapentaenoic acid	C22:5 n-3	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05
Docosapentaenoic acid	C22:5 n-6	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06
Cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic acid (DHA)	C22:6 n-3	0.71	0.72	0.63	0.69	0.65
Lignoceric acid	C24:0	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02

ตารางที่ 12 (ต่อ)

องค์ประกอบของไขมัน (กรัม/100 กรัม)		สูตรอาหาร				
		1 (ชุดควบคุม)	2 (ปลาป่นหืนน้อย)	3 (ปลาป่นหืนปานกลาง)	4 (ปลาป่นหืนมาก)	5 (ปลาป่นหืนมากที่สุด)
Nervonic acid	C24:1	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Unidentified peak		0.17	0.24	0.16	0.16	0.18
Monosaturated FA		**0.92**	**0.99**	**0.82**	**0.92**	**0.90**
Saturated FA		**2.29**	**2.47**	**2.15**	**2.34**	**2.25**
n-3		**1.12**	**1.18**	**1.00**	**1.11**	**1.04**
n-6		**1.31**	**1.45**	**1.25**	**1.31**	**1.28**
n-3:n-6		**0.85**	**0.81**	**0.80**	**0.85**	**0.81**
Total PUFA[1]		**2.43**	**2.63**	**2.25**	**2.42**	**2.32**
Total [2]		**5.81**	**6.33**	**5.38**	**5.84**	**5.65**
PUFA:Sat		**1.0611**	**1.0648**	**1.0465**	**1.0342**	**1.0311**
PUFA:Total		**0.4182**	**0.4155**	**0.4182**	**0.4144**	**0.4106**

[1] n-3 + n-6

[2] Monounsaturated FA + PUFA + Saturated FA+ Unidentified peak

2.3 การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร

จากการทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำขนาด 0.25 กรัม ด้วยอาหารที่ใช้ปลาป่นที่มีความหืนในระดับต่างๆ กัน คือสูตรควบคุม (ปลาป่นผลิตใหม่; TBARS = 7.87 mgMAD/kg sample) สูตรที่ 2 (ปลาป่นหืนน้อย; TBARS = 15.02 mgMAD/kg sample) สูตรที่ 3 (ปลาป่นหืนปานกลางและเติมสารกันหืน; TBARS = 22.52 mgMAD/kg sample) สูตรที่ 4 (ปลาป่นหืนมาก; TBARS = 25.67 mgMAD/kg sample) และสูตรที่ 5 (ปลาป่นหืนมากที่สุด; TBARS = 62.31 mgMAD/kg sample) เป็นแหล่งโปรตีนหลัก เป็นระยะเวลานาน 60 วัน ให้ผลการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร ดังแสดงในตารางที่ 13

2.3.1 น้ำหนักสุดท้าย (final weight) จากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำนาน 60 วันพบว่า กุ้งที่กินอาหารสูตรที่ 1 ซึ่งเป็นสูตรควบคุม สูตรที่ 2 และสูตรที่ 4 มีน้ำหนัก 4.15±0.30 กรัม 4.21±0.26 กรัม และ 4.12±0.39 กรัม ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 3 มีน้ำหนักสุดท้ายต่ำที่สุดเท่ากับ 2.33±0.38 กรัม ($P<0.05$) รองลง มาคือกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 5 มีค่าเท่ากับ 3.28±0.46 กรัม

2.3.2 น้ำหนักอาหารที่กิน พบว่าปริมาณอาหารที่กุ้งกินในสูตรควบคุม สูตรที่ 2 สูตรที่ 4 และสูตรที่ 5 อยู่ในช่วง 9.19±1.02 ถึง 9.72±0.81 กรัมต่อตัว และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) ขณะที่กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 3 กินอาหารน้อยที่สุดเท่ากับ 5.63±0.67 กรัมต่อตัว ($P<0.05$)

2.3.3 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (% weight gain) ผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันกับน้ำหนักสุดท้ายของกุ้ง พบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 3 มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด (885.27±139.23%) รองลงมาคือสูตรที่ 5 (1306.14±242.69%) ส่วนกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 ชุดควบคุม อาหารสูตรที่ 2 และอาหารสูตรที่ 4 มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นในช่วง 1556.70±158.38 ถึง 1610.78±208.39% และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)

2.3.4 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate) พบว่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 5 สูตร มีค่าอยู่ในช่วง 3.79±0.24 ถึง 4.72±0.20% ต่อวัน โดยสูตรที่ 3 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำสุด (3.79±0.24% ต่อวัน) ($P<0.05$) รองลงมาคือกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 5 (4.38±0.31% ต่อวัน) ส่วนกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 สูตรควบคุม อาหารสูตรที่ 2 และอาหารสูตรที่ 4 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่แตกต่างกันและสูงกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 และ 5

2.3.5 อัตราการแลกเนื้อ (feed conversion rate) กุ้งที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร มีอัตราการแลกเนื้ออยู่ระหว่าง 1.95±0.20 ถึง 2.59±0.19 โดยกุ้งที่ได้รับอาหารสูตร

ควบคุม (2.16±0.28) สูตรที่ 2 (1.95±0.20) และสูตรที่ 4 (2.08±0.19) มีอัตราการแลกเนื้อดีกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (2.59±0.19) (P<0.05) ส่วนกุ้งที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 (2.29±0.37) ไม่แตกต่างจากสูตรที่ 1 และสูตรที่ 4

2.3.6 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio) ของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 5 สูตร มีค่าอยู่ในช่วง 0.73±0.11 ถึง 0.94±0.08 โดยกุ้งที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรที่ 4 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.88±0.06, 0.94±0.08 และ 0.91±0.08 ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) และมีค่ามากกว่าในกุ้งที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (0.73±0.11) (P<0.05) ขณะที่กุ้งที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ไม่แตกต่างจากกุ้งที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และสูตรที่ 4

2.3.7 โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (productive protein value) มีค่าอยู่ระหว่าง 28.79±2.10 ถึง 37.49±3.23% โดยกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2 มีค่าโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์เท่ากับ 37.49±3.23% ไม่มีความแตกต่างกับกุ้งที่เลี้ยงดัวยอาหารสูตรที่ 1 และอาหารสูตรที่ 4 ส่วนกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 5 ให้ผลโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ต่ำ (28.79±2.10%) แต่ไม่แตกต่างจากกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 31.91±5.18%

2.3.8 อัตราการรอดตาย (survival rate) อยู่ในช่วง 87.33±6.89 ถึง 92.00±2.53% และไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05) ระหว่างกุ้งในแต่ละชุดการทดลอง

ตารางที่ 13 น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว) น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว) น้ำหนักอาหารที่กิน (กรัม/ตัว)เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (%) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน) อัตราการแลกเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (%) และอัตราการรอด (%) ของกุ้งกุลาดำขนาด 0.25 กรัม ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ใช้ปลาป่นที่มีระดับความหืนต่างกัน เป็นระยะเวลา 60 วัน[1]

สูตรอาหาร	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)	น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว)[2]	น้ำหนักอาหารที่กิน (กรัม/ตัว)	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (%)[3]	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน)[4]	อัตราการแลกเนื้อ[5]	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน[6]	โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (%)[7]	อัตราการรอด (%)[8]
1	0.25±0.03	4.15±0.30 ^{a}	9.72±0.81 ^{a}	1556.70±158.38 ^{a}	4.67±0.16 ^{a}	2.16±0.28 ^{ab}	0.88±0.06 ^{ab}	35.02±3.07 ^{ab}	92.00±7.15
2	0.25±0.02	4.21±0.26 ^{a}	9.21±0.70 ^{a}	1610.78±208.39 ^{a}	4.72±0.20 ^{a}	1.95±0.20 ^{a}	0.94±0.08 ^{a}	37.49±3.23 ^{a}	88.67±7.34
3	0.24±0.02	2.33±0.38 ^{c}	5.63±0.67 ^{b}	885.27±139.23 ^{c}	3.79±0.24 ^{c}	2.29±0.37 ^{bc}	0.81±0.12 ^{bc}	31.91±5.18 ^{bc}	88.00±12.13
4	0.25±0.01	4.12±0.39 ^{a}	9.39±0.88 ^{a}	1584.43±208.69 ^{a}	4.67±0.19 ^{a}	2.08±0.19 ^{ab}	0.91±0.08 ^{ab}	36.11±3.17 ^{ab}	92.00±2.53
5	0.24±0.02	3.28±0.46 ^{b}	9.19±1.02 ^{a}	1306.14±242.69 ^{b}	4.38±0.31 ^{b}	2.59±0.19 ^{c}	0.73±0.11 ^{c}	28.79±2.10 ^{c}	87.33±6.89

[1] ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ ± SD

[2] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p< 0.05$)

[3] เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น = (น้ำหนักสุดท้าย – น้ำหนักเริ่มต้น) / น้ำหนักเริ่มต้น x 100

[4] อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ = $(\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1)$ x 100

[5] อัตราการแลกเนื้อ = น้ำหนักอาหารที่กินทั้งหมด (กรัม) / น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)

[6] ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน = น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) /น้ำหนักโปรตีนที่กุ้งกินตลอดการทดลอง

[7] โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ = โปรตีนของตัวกุ้งที่เพิ่มขึ้น (กรัม) / น้ำหนักโปรตีนที่กุ้งกินตลอดการทดลอง X 100

[8] อัตราการรอด = จำนวนกุ้งที่เหลือ / จำนวนกุ้งเริ่มต้น x 100

2.4 องค์ประกอบทางเคมีของกุ้ง

ระดับโปรตีน ไขมัน เถ้าและความชื้นในตัวกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ผลิตด้วยปลาป่นที่มีระดับความหืนแตกต่างกัน เป็นระยะเวลานาน 60 วัน ดังแสดงในตารางที่ 14

2.4.1 โปรตีน พบว่าระดับโปรตีนในตัวกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 5 สูตร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 68.56±0.1.40 ถึง 69.47±0.54% โดยมีระดับสูงกว่าในกุ้งเมื่อเริ่มทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 67.37±0.47%

2.4.2 ไขมัน พบว่าระดับไขมันในตัวกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร มีค่าอยู่ในช่วง 5.87±0.39ถึง 6.77±1.07% กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2 (ปลาป่นมีความหืนน้อย) มีปริมาณไขมันสูงกว่า (6.77±1.07%) รองลงมาคือในกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 4 ที่มีความหืนมาก (6.33±0.80%) แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของไขมันในกุ้งที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร

2.4.3 เถ้า มีค่าอยู่ระหว่าง 15.17±0.63 ถึง 16.57±0.54% โดยสูตรที่ 5 ซึ่งใช้ปลาป่นที่มีความหืนมากที่สุดมีเปอร์เซ็นต์เถ้าต่ำเท่ากับ 15.17±0.63% แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับกุ้งที่ได้รับอาหาร สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.93±0.54 และ 15.81± 0.93% ตามลำดับ ส่วนกุ้งที่เลี้ยงด้วยสูตรที่ 4 มีเถ้าสูงถึง 16.57±0.541% แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3

2.4.4 ความชื้น พบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 5 สูตร มีค่าอยู่ในช่วง 9.18±0.36 ถึง 9.83±0.77% โดยกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 4 มีความชื้นต่ำแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติจากกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1, 3 และ 5 ส่วนกุ้งที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 มีค่าความชื้นสูงกว่าสูตรที่ 4 แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติจากสูตรที่ 1, 3 และ 5

ตารางที่ 14 องค์ประกอบทางเคมีของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 60 วัน บนฐานของน้ำหนักแห้ง[1]

สูตรอาหาร	โปรตีน (%)[2]	ไขมัน (%)	เถ้า (%)	ความชื้น (%)
กุ้งเริ่มต้น	67.37±0.48	5.58±0.46	16.64±0.63	9.87±0.39
1 (ควบคุม)	69.02±0.55	6.03±0.67	16.25±0.68 ^{b}	9.73±0.39 ^{ab}
2	69.47±0.54	6.77±1.07	15.94±0.54 ^{ab}	9.83±0.42 ^{b}
3	68.57±1.40	5.87±0.39	15.81±0.93 ^{ab}	9.66±0.60 ^{ab}
4	69.37±1.68	6.33±0.80	16.58±0.54 ^{b}	9.18±0.36 ^{a}
5	68.92±1.10	6.22±1.00	15.17±0.63 ^{a}	9.28±0.60 ^{ab}

[1] ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ ± SD

[2] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p< 0.05$)

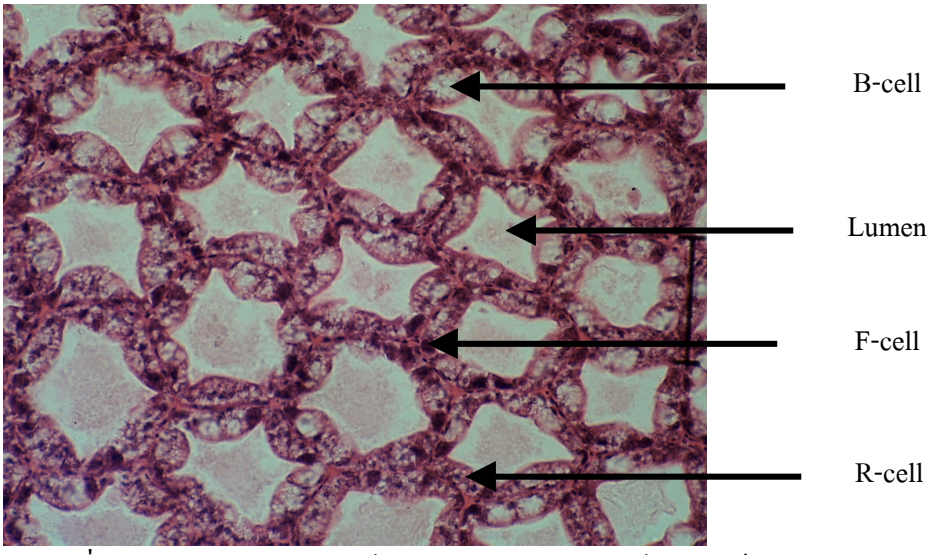
2.5 ลักษณะทางพยาธิสภาพเนื้อเยื่อตับของกุ้งกุลาดำ

เนื้อเยื่อตับของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ผลิตโดยใช้ปลาป่นที่มีระดับความหืนต่างๆ กันเป็นแหล่งโปรตีนหลัก ดังแสดงในตารางที่ 15 ซึ่งพบว่าเนื้อเยื่อตับของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 (ชุดควบคุม) สูตรที่ 2 (ปลาป่นมีความหืนน้อย) สูตรที่ 3 (ปลาป่นมีความหืนปานกลางและเติมสารกันหืนอีทอกซิควิน) สูตรที่ 4 (ปลาป่นมีความหืนมาก) และสูตรที่ 5 (ปลาป่นมีความหืนมากที่สุด) ให้ผลทางเนื้อเยื่อตับปกติคิดเป็น 100, 100, 50, 80 และ 60% ของจำนวน 10 ตัวอย่างต่อ 1 สูตรอาหาร ตามลำดับ โดยกุ้งที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และ 2 ที่มีลักษณะเนื้อเยื่อปกติ ท่อตับมีลักษณะกลมและช่องว่างระหว่างท่อตับแนบชิดติดกัน ไม่มีเม็ดเลือดแทรกตัวระหว่างท่อตับ มีเซลล์ทุกชนิดครบและมีความสมบูรณ์อยู่ในท่อตับทำให้ช่องว่างภายในท่อตับ (lumen) เป็นรูปดาว (star shape) เห็นได้ชัดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบ light microscope ดังภาพที่ 12 สำหรับกุ้งที่มีลักษณะของเนื้อเยื่อตับผิดปกติ พบในกุ้งที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3, 4 และ 5 โดยพบความผิดปกติมากที่สุดในกุ้งที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 มีการแทรกตัวของเม็ดเลือดในช่องว่างระหว่างท่อตับ (infiltration of haemocyte) 30% (ภาพที่ 13) มีการลีบฝ่อของเซลล์ท่อตับ (atrophy) 10% (ภาพที่ 14) และมีการสร้างโนดูล (nodule formation) คิดเป็น 10% (ภาพที่ 13) รองลงมาเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 5 พบการแทรกตัวของเม็ดเลือดในช่องว่างระหว่างท่อตับ 20% (ภาพที่ 15 และ 16) มีการลีบฝ่อของเซลล์ท่อตับ 10% (ภาพที่ 15) และมีการสร้างโนดูล 10% (ภาพที่ 16) ใน

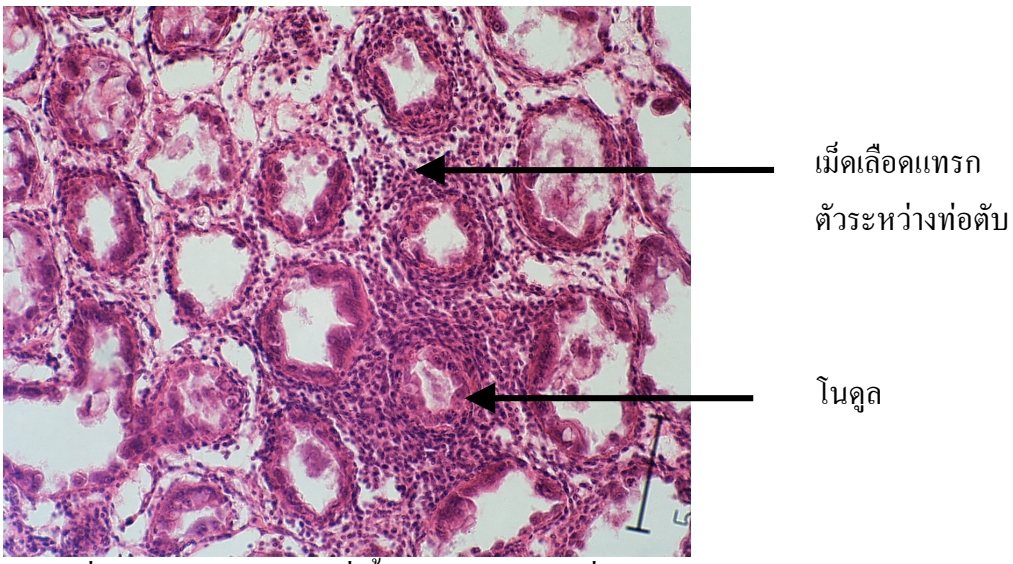
ขณะที่กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 4 เนื้อเยื่อตับมีการแทรกตัวของเม็ดเลือดระหว่างท่อตับเพียงลักษณะเดียว (ภาพที่ 17) คิดเป็น 20% ของจำนวนตัวอย่าง 10 ตัวอย่าง

ตารางที่ 15 ลักษณะเนื้อเยื่อตับของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ผลิตจากปลาป่นที่มีระดับความหืนต่างๆ กัน นาน 60 วัน

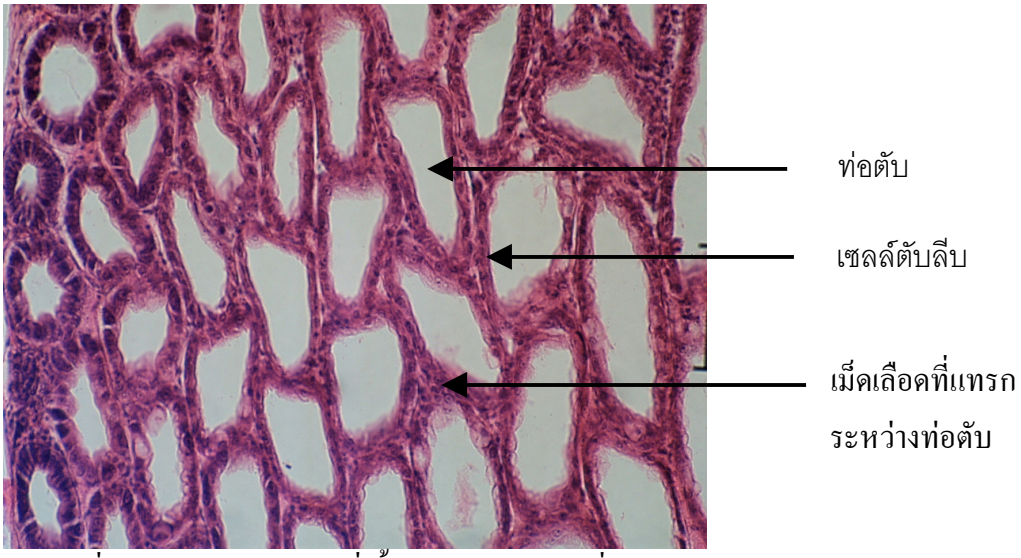
สูตรอาหาร	เซลล์ปกติ	การแทรกตัวของเม็ดเลือด	เซลล์ลีบฝ่อ	ลักษณะเป็นโนดูล
1	100%	-	-	-
2	100%	-	-	-
3	50%	30%	10%	10%
4	80%	20%	-	-
5	60%	20%	10%	10%



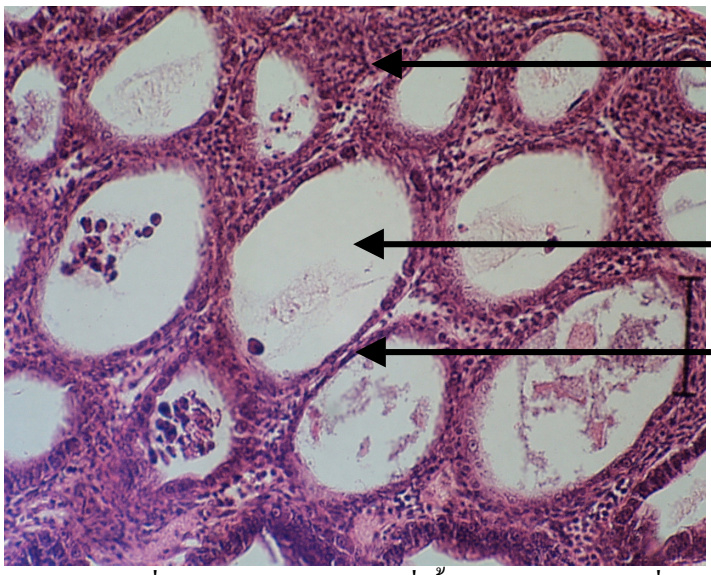
ภาพที่ 12 โครงสร้างตับที่ปกติของกุ้งกุลาดำ เซลล์ต่างๆ มีลักษณะสมบูรณ์ ท่อตับเป็นรูปดาว ไม่มีการแทรกตัวของเม็ดเลือดระหว่างท่อตับ (H&E , Bar = 100 μm)



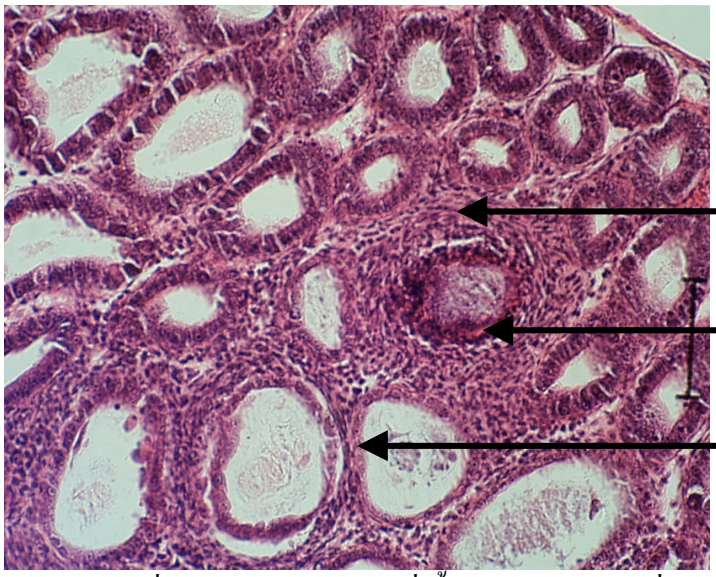
ภาพที่ 13 โครงสร้างตับที่ผิดปกติของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 3 (ปลาป่นมีความหืนปานกลางและเติมสารกันหืนอีทอกซิควิน) นาน 60 วัน พบว่ามีการแทรกตัวของเม็ดเลือดระหว่างท่อตับจำนวนมาก และมีการสร้างโนดูล (H&E, Bar = 100 μm)



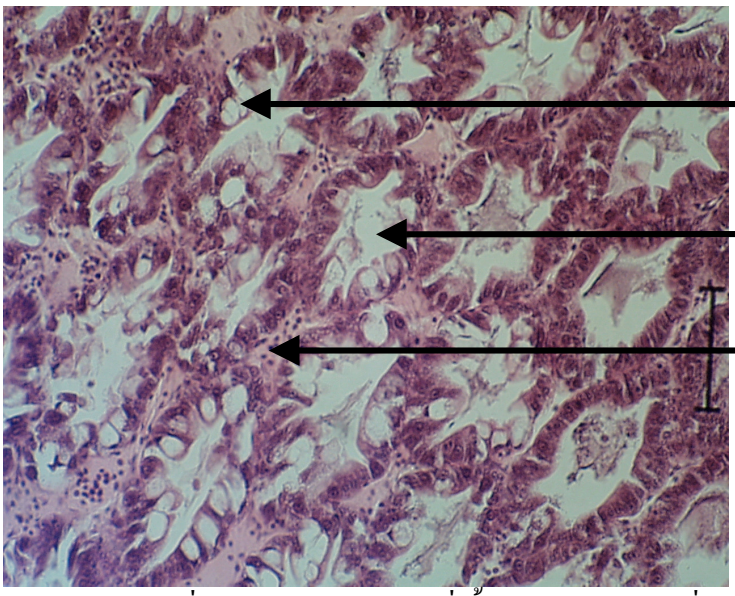
ภาพที่ 14 โครงสร้างตับที่ผิดปกติของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 3 (ปลาป่นมีความหืนปานกลางและเติมสารกันหืน) นาน 60 วัน ท่อตับมีลักษณะลีบฝ่อ มีเซลล์ตับจำนวนน้อยมาก มีเม็ดเลือดเข้ามาแทรกในช่องว่างระหว่างท่อตับเล็กน้อย (H&E, Bar = 100 μm)



ภาพที่ 15 โครงสร้างตับที่ผิดปกติของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 5 (ปลาป่นมีความหืนมากที่สุด) นาน 60 วัน ท่อตับมีลักษณะ ลีบฝ่อ มีเซลล์ตับจำนวนน้อยมาก มีเม็ดเลือดเข้ามาแทรกในช่องว่างระหว่างท่อตับจำนวนมาก (H&E, Bar = 100 µm)



ภาพที่ 16 โครงสร้างตับที่ไม่ปกติของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 5 (ปลาป่นมีความหืนมากที่สุด) นาน 60 วัน มีการแทรกตัวของเม็ดเลือดระหว่างท่อตับจำนวนมาก เซลล์ตับลีบฝ่อ และมีการสร้างโนดูล (H&E, Bar = 100 µm)



ภาพที่ 17 โครงสร้างตับที่ผิดปกติของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 4 (ปลาป่นมีความหืนมาก) นาน 60 วัน มีการแทรกตัวของเม็ดเลือดระหว่างท่อตับ (H&E , Bar = 100 μm)