บทที่ 3

ผลการทดลอง

1 การทดลองที่ 1

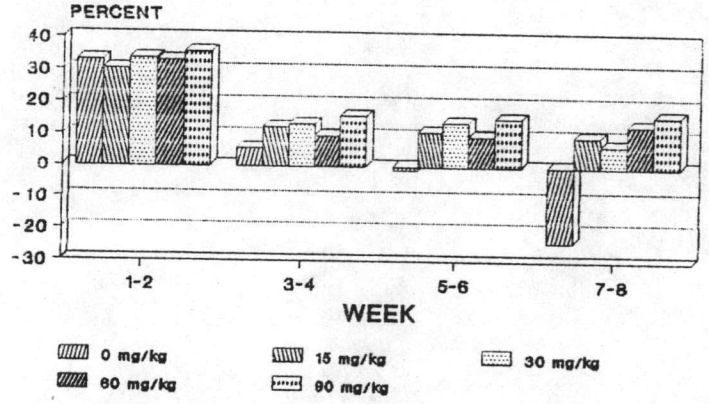
ใช้ปลาทดลองขนาดใหญ่กว่าการทดลองที่ 2 คือมีน้ำหนักเฉลี่ย 17 กรัม/ตัว ทำการทดลองในตู้กระจกที่มีขนาด 30 x 60 x 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้ระบบน้ำแบบไหลผ่านตลอด มีอัตราการไหล 0.7 ลิตร/นาที มีความเค็มของน้ำตลอดการทดลอง 29.0-30.5 ส่วนในพัน อุณหภูมิน้ำ 23-27 องศาเซลเซียส และความเป็นกรดด่าง 7.8-8.2

1.1 อัตราการเติบโต จากตารางที่ 5 พบว่าในช่วง 2 สัปดาห์แรกของการทดลอง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณกรดแพนโตเทนิคทั้ง 5 ระดับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 3-4 ปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่ไม่มีกรดแพนโตเทนิค เริ่มโตช้ากว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณกรดแพนโตเทนิค 15, 30, 60 และ 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้ง โดยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 5-6 ปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดแพนโตเทนิคมีน้ำหนักตัวลดลง ซึ่งแตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) และปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณกรดแพนโตเทนิค 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้ง มีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักมากกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณกรดแพนโตเทนิคระดับอื่นๆแต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 7-8 ของการทดลองอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักปลาที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดแพนโตเทนิคมีน้ำหนักตัวลดลงไปอีก ซึ่งแตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่ขาดกรดแพนโตเทนิคอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) และปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณกรดแพนโตเทนิค 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้ง มีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักมากกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณกรดแพนโตเทนิคในระดับอื่นๆ แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

แต่เมื่อคิดอัตราการเพิ่มของน้ำหนักตลอดการทดลอง (ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 8) แล้วพบว่าอัตราการเพิ่มของน้ำหนักปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดแพนโตเทนิคมีค่าต่ำสุด ซึ่งแตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณกรดแพนโตเทนิคในระดับอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่ปริมาณกรดแพนโตเทนิค 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้ง พบว่ามีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักมากกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณกรดแพนโตเทนิคในระดับอื่นๆ ($P<0.01$)

ตารางที่ 5 อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเฉลี่ยของปลากะพงขาวที่ได้เลี้ยงด้วยอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคต่างกัน 5 ระดับเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระดับกรดแพนโตเทนิค (มก./กก.อาหารแห้ง)	อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเฉลี่ยในช่วงสัปดาห์ที่ (%)				
	1-2	3-4	5-6	7-8	0-8
0	32.98±3.78	5.55±1.35	-1.20±6.25^a	-23.91± 5.95^a	8.95± 3.00^a
15	30.39±3.05	12.09±4.67	11.00±2.31^b	9.60± 6.40^b	77.46± 2.51^b
30	33.68±1.96	13.11±5.35	13.85±1.90^b	6.78± 4.97^b	83.64± 8.05^b
60	33.11±3.46	9.45±7.76	9.52±4.47^b	13.36±12.01^b	79.98±10.46^b
90	35.68±8.48	15.88±6.16	15.27±1.29^b	16.21±10.78^b	109.60± 4.93^c

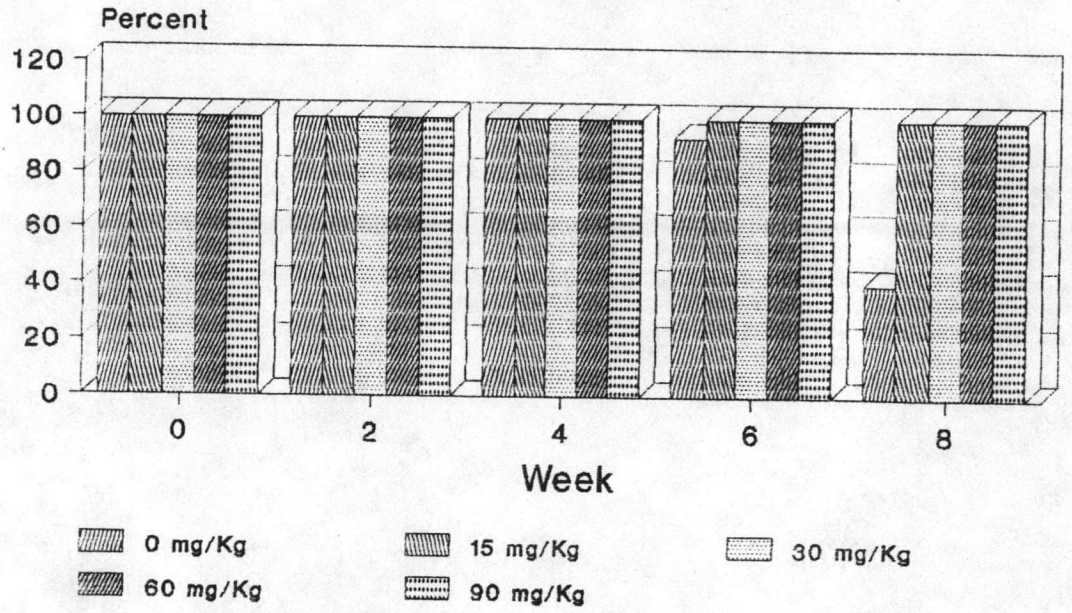


รูปที่ 1 อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคผสมอยู่ต่างกัน 5 ระดับ เป็นเวลา 8 สัปดาห์

1.2 อัตราการรอด จากตารางที่ 6 พบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดแพนโตเทนิคจะเริ่มตายในสัปดาห์ที่ 5,6 และจะมีอัตราการตายอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 7, 8 ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิค 15, 30, 60 และ 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้งไม่พบว่ามีการตาย เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าในช่วงสัปดาห์ที่ 5, 6 และ 7, 8 อัตราการรอดของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดแพนโตเทนิค จะแตกต่างจากปลาที่ได้รับาหารที่ไม่ขาดกรดแพนโตเทนิคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณกรดแพนโตเทนิค 15, 30, 60 และ 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้งมีอัตราการรอดเท่ากันคือ 100 %

ตารางที่ 6 อัตราการรอดของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคต่างกัน 5 ระดับ เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระดับกรดแพนโตเทนิค (มก./กก.อาหารแห้ง)	อัตราการรอดของปลากะพงขาวในปลายสัปดาห์ที่ (ร้อยละ)			
	1-2	3-4	5-6	7-8
0	100.00	100.00	93.33 ± 5.77^{a}	40.00 ± 36.06^{a}
15	100.00	100.00	100.00^{b}	100.00^{b}
30	100.00	100.00	100.00^{b}	100.00^{b}
60	100.00	100.00	100.00^{b}	100.00^{b}
90	100.00	100.00	100.00^{b}	100.00^{b}

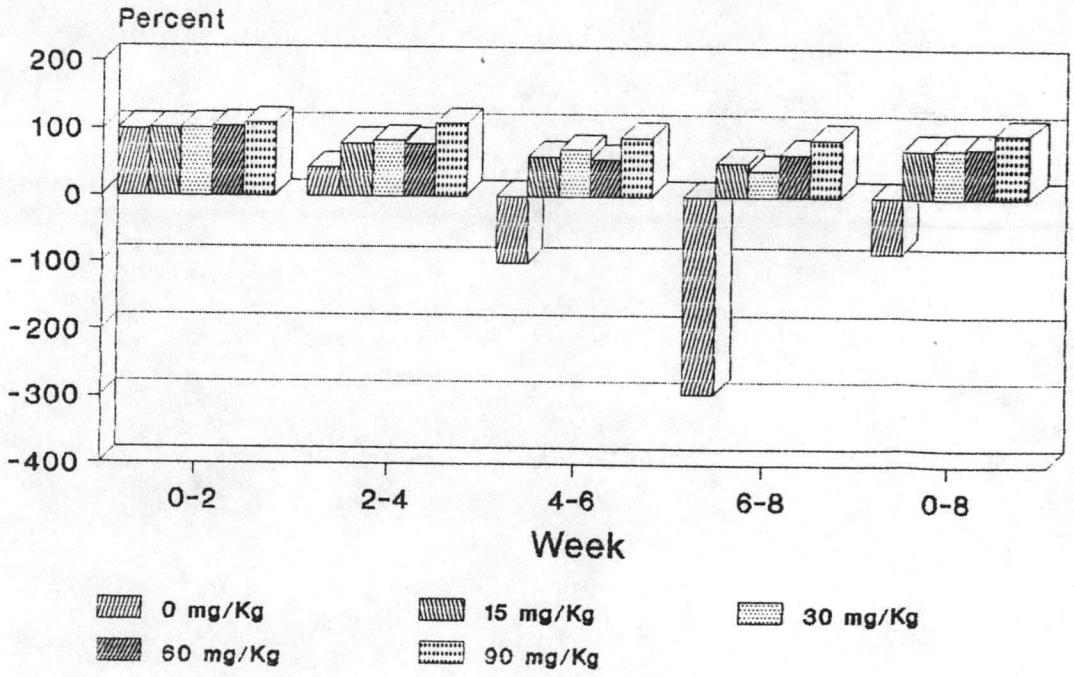


รูปที่ 2 อัตราการรอด ของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคผสมอยู่แตกต่างกัน 5 ระดับ เป็นเวลา 8 สัปดาห์

1.3 **ประสิทธิภาพอาหาร** จากตารางที่ 7 พบว่าประสิทธิภาพของอาหารในช่วง 2 สัปดาห์แรกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในช่วงสัปดาห์ที่ 3, 4 ประสิทธิภาพของอาหารที่ขาดกรดแพนโตเทนิคลดลงจนต่ำกว่าอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคในทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในสัปดาห์ที่ 5, 6 และ 7, 8 อาหารที่ขาดกรดแพนโตเทนิคเป็นอาหารที่ไม่มีประสิทธิภาพ แตกต่างจากอาหารที่มีปริมาณกรดแพนโตเทนิคทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนอาหารที่ไม่ขาดกรดแพนโตเทนิคพบว่าอาหารที่มีปริมาณกรดแพนโตเทนิค 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้งมีประสิทธิภาพอาหารสูงกว่าอาหารที่มีปริมาณกรดแพนโตเทนิคในระดับอื่นๆแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ประสิทธิภาพของอาหารตลอดการทดลองพบว่า อาหารที่มีปริมาณกรดแพนโตเทนิค 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้ง จะมีประสิทธิภาพอาหารสูงกว่าอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคในระดับอื่นๆแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนอาหารที่ขาดกรดแพนโตเทนิคมีประสิทธิภาพอาหารเป็นลบแตกต่างกับอาหารมีกรดแพนโตเทนิคในทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อปลาของอาหารทดลองที่มีกรดแพนโตเทนิคต่างกัน 5 ระดับเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระดับกรดแพนโตเทนิค (มก./กก.อาหารแห้ง)	ช่วงสัปดาห์ที่ 1-2	3-4	5-6	7-8	0-8
0	99.18± 5.54	42.62± 6.13[a]	-100.22±103.07[a]	-293.55±58.76[a]	-83.25±79.92
15	100.72± 3.62	79.09±10.26[b]	59.95±10.85[b]	50.91±29.67[b]	72.03±3.63[b]
30	100.81± 4.18	82.86±17.02[b]	69.70± 7.30[b]	39.90±29.47[b]	74.06±6.12[b]
60	103.87± 2.32	79.04±15.56[b]	55.49±11.68[b]	64.24±53.23[b]	74.96±9.35[b]
90	108.76±29.19	108.41±20.36[b]	88.01±11.43[b]	87.17±49.32[b]	95.46±7.68[b]



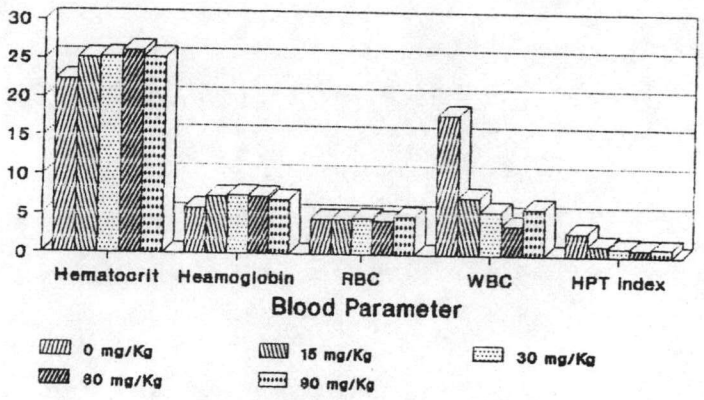
รูปที่ 3 ประสิทธิภาพของอาหารที่ผสมกรดแพนโตเทนิคต่างกัน 5 ระดับ เป็นเวลา 8 สัปดาห์

1.4 การเปลี่ยนแปลงทางโลหิตวิทยา และค่า อัตราส่วนน้ำหนักตับ/น้ำหนักตัว

จากตารางที่ 8 พบว่าค่าฮีมาโตคริตของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดแพนโตเทนิค มีค่าต่ำกว่าค่าฮีมาโตคริตของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรที่มีกรดแพนโตเทนิคอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ค่าฮีโมโกลบินของปลากะพงขาวที่ขาดกรดแพนโตเทนิค จะต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณกรดแพนโตเทนิคทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนค่าฮีโมโกลบินของปลาที่ไม่ขาดกรดแพนโตเทนิคพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนปริมาณเม็ดเลือดแดงของปลาที่ขาดกรดแพนโตเทนิค และปลาที่ไม่ขาดกรดแพนโตเทนิค พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ปริมาณเม็ดเลือดขาวของปลาที่ขาดกรดแพนโตเทนิคพบว่ามีปริมาณสูงกว่าปลาที่ไม่ขาดกรดแพนโตเทนิคอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และค่าอัตราส่วนน้ำหนักตับ/น้ำหนักตัวของปลาที่ขาดกรดแพนโตเทนิคพบว่ามีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณกรดแพนโตเทนิค 15 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้ง และปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณกรดแพนโตเทนิค 15 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้งจะมีค่าอัตราส่วนน้ำหนักตับ/น้ำหนักตัวสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณกรดแพนโตเทนิค 30, 60 และ 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 8 ปริมาณฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต เม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว อัตราส่วนน้ำหนักตับ/น้ำหนักตัว (Hepatosomatic index) ของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคต่างกัน 5 ระดับเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระดับกรดแพนโตเทนิต (มก./กก.อาหารแห้ง)	ฮีโมโกลบิน (กรัม/100 มิลลิลิตร)	ฮีมาโตคริต (%)	เม็ดเลือดแดง ($x10^6$ เซล/ มิลลิลิตร)	เม็ดเลือดขาว ($x10^4$เซล/ มิลลิลิตร)	Hepatoso-matic Index
0	5.84 ± 0.59^a	22.30 ± 1.24^a	4.51 ± 0.55^a	17.90 ± 4.32^a	2.94 ± 0.80^c
15	7.33 ± 0.24^b	25.08 ± 1.93^a	4.46 ± 0.94^a	7.30 ± 2.14^b	1.34 ± 0.32^b
30	7.44 ± 0.70^b	25.25 ± 2.64^a	4.57 ± 1.03^a	5.58 ± 1.66^b	1.06 ± 0.26^a
60	7.39 ± 0.35^b	26.08 ± 1.69^a	4.38 ± 1.22^a	3.80 ± 2.84^b	0.93 ± 0.32^a
90	6.91 ± 0.79^b	25.20 ± 2.05^a	4.95 ± 0.70^a	6.00 ± 2.55^b	1.02 ± 0.33^a

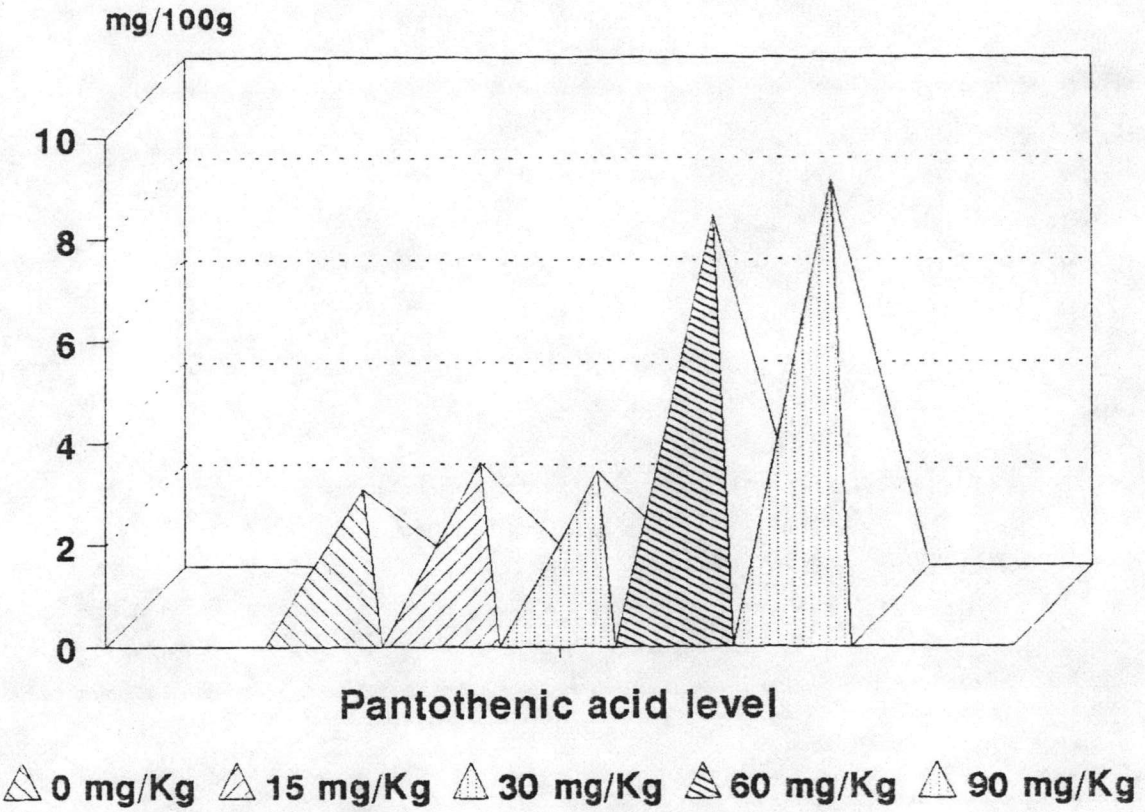


รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงทางโลหิตวิทยาและค่า Hepatosomatic Index ของปลาที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคผสมอยู่ต่างกัน 5 ระดับ เป็นเวลา 8 สัปดาห์

1.5 ปริมาณกรดแพนโตเทนิคที่สะสมในตับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปริมาณกรดแพนโตเทนิคที่สะสมในตับของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดแพนโตเทนิคจะมีค่าต่ำสุด และปริมาณกรดแพนโตเทนิคที่สะสมในตับจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิค 15 และ 30 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้ง และจะเพิ่มขึ้นมากเมื่อให้อาหารที่มีกรดแพนโตเทนิค 60 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้งหรือสูงกว่า

ตารางที่ 9 ปริมาณกรดแพนโตเทนิคที่สะสมในตับปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคต่างกัน 5 ระดับเป็นเวลา 8 สัปดาห์

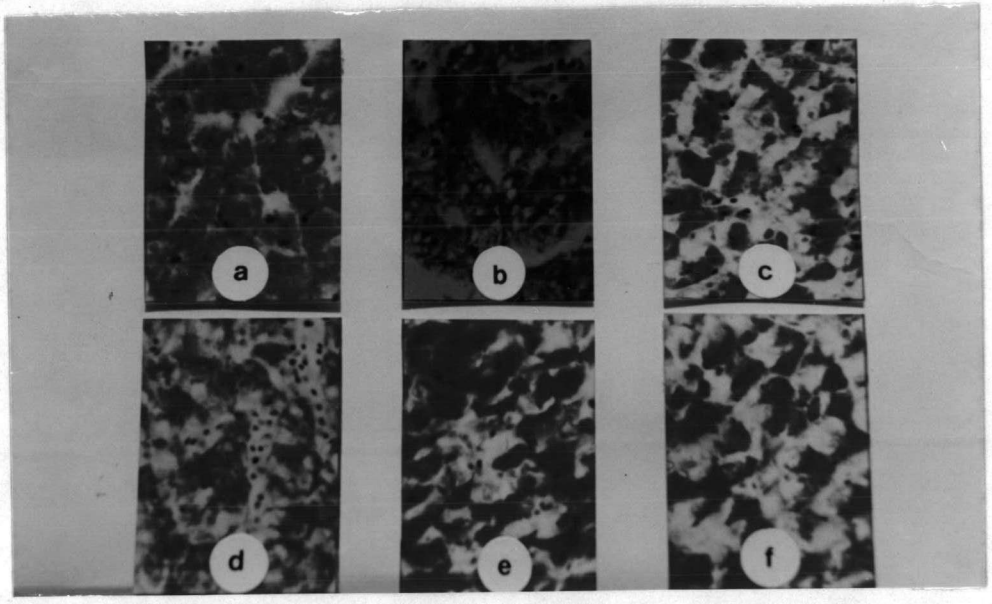
ระดับกรดแพนโตเทนิค (มก./กก.อาหารแห้ง)	ปริมาณกรดแพนโตเทนิคที่สะสมในตับ (มก./100 กรัม)
0	2.31
15	2.85
30	2.67
60	7.66
90	8.34



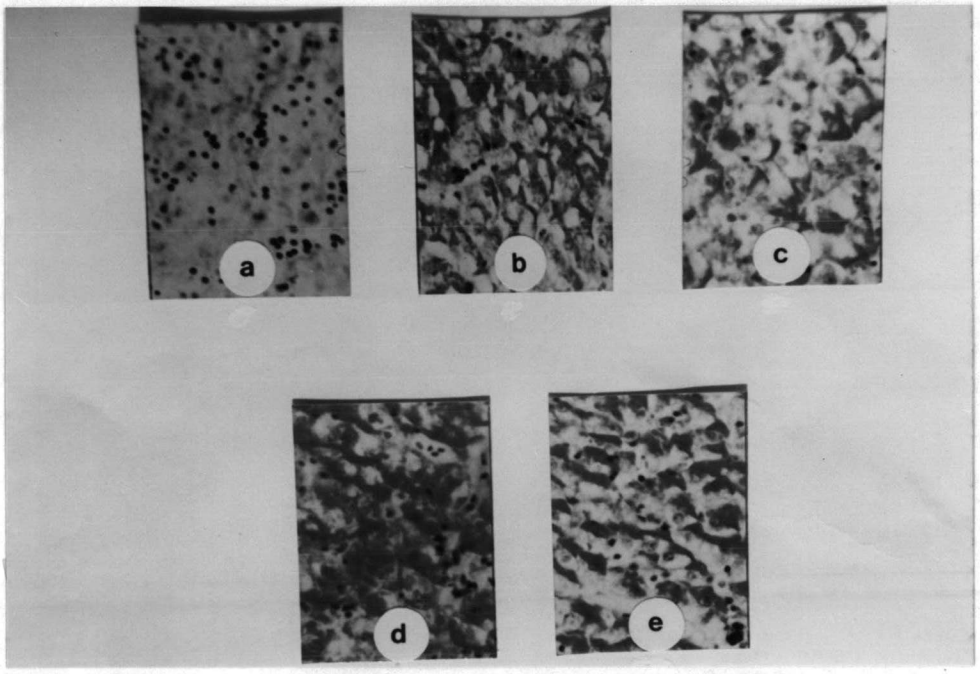
รูปที่ 5 ปริมาณกรดแพนโตเทนิคที่สะสมในตับปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคผสมอยู่ต่างกัน 5 ระดับ เป็นเวลา 8 สัปดาห์

1.6 การเปลี่ยนแปลงทางมิญชวิทยา

1.6.1 การศึกษาปริมาณไกลโคเจนที่สะสมในตับโดยการย้อมสี Best's carmine พบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดแพนโตเทนิค มีการสะสมของไกลโคเจนในตับน้อยกว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคทุกระดับโดยสังเกตจากการติดสีแดงจากการย้อมจางที่สุด เนื่องจากความเข้มของสีแดงของ Best's carmine เป็นสิ่งบ่งชี้ถึงปริมาณไกลโคเจน โดยเนื้อเยื่อที่ย้อมติดสีแดงเข้มจะมีปริมาณไกลโคเจนมากกว่าเนื้อเยื่อที่ย้อมติดสีจาง จากการทดลองนี้พบว่าปลาที่ขาดกรดแพนโตเทนิคเริ่มมีปริมาณไกลโคเจนที่สะสมในตับลดลงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 6 เป็นต้นไปจนสิ้นสุดการทดลอง



รูปที่ 6 a: ปริมาณไกลโคเจนที่สะสมในตับปลากะพงขาวที่ปกติก่อนการทดลองสังเกตเห็นว่าติดสีแดงเข้มแสดงถึงปริมาณไกลโคเจนที่สะสมในตับมีปริมาณมาก, b: ปริมาณไกลโคเจนที่สะสมในตับปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดแพนโตเทนิคในสัปดาห์ที่ 6 ของการทดลอง พบว่าย้อมติดสีแดงจางมากแสดงว่ามีปริมาณไกลโคเจนที่สะสมในตับน้อย c, d, e และ f: ปริมาณไกลโคเจนที่สะสมในตับปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิค 15, 30, 60 และ 90 มก./กก.อาหารแห้งตามลำดับในสัปดาห์ที่ 6 พบว่าติดสีแดงเข้มแสดงว่ามีการสะสมของไกลโคเจนในตับในปริมาณมาก (x400)



รูปที่ 7 a: ปริมาณไกลโคเจนที่สะสมในตับปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดแพนโตเทนิคในสัปดาห์ที่ 8 ของการทดลองพบว่าย้อมติดสีแดงของ Best's carmine จางมากแสดงให้เห็นว่ามีปริมาณไกลโคเจนที่สะสมในตับน้อย b, c, d และ e ปริมาณไกลโคเจนที่สะสมในตับปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิค 15 ,30, 60 และ 90 มก./กก.อาหารแห้งตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 8 พบว่าติดสีแดงเข้มจากการย้อมสี Best's carmine แสดงถึงการสะสมของไกลโคเจนในตับในปริมาณมาก (x400)

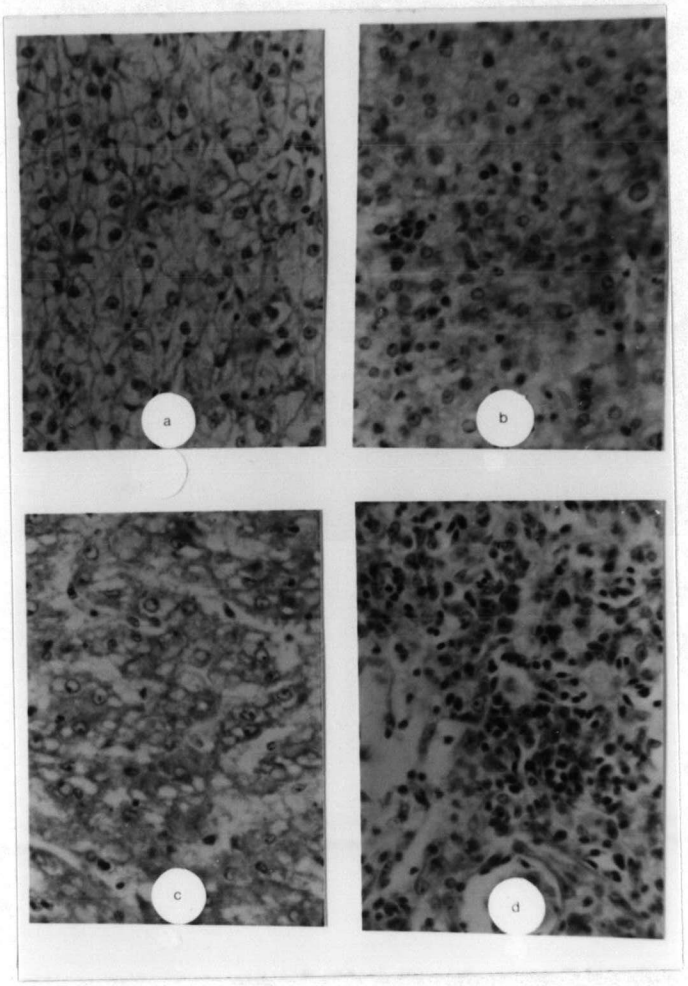
จากรูปที่ 6-7 พบว่าปริมาณไกลโคเจนที่สะสมในตับของปลาที่ขาดกรดแพนโตเทนิคมีน้อยกว่าปลาที่ไม่ขาดกรดแพนโตเทนิค โดยสังเกตได้จากความเข้มของสีแดงที่เกิดจากการย้อมสี Best's carmine โดยที่ความเข้มของสีจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไกลโคเจน

1.7.2 การศึกษาทางจุลสัณฐานวิทยา (Micromorphology)

เนื้อเยื่อตับพบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคผสมอยู่ต่างกัน 5 ระดับมีลักษณะดังแสดงไว้ในตารางที่ 10 และ รูปที่ 8

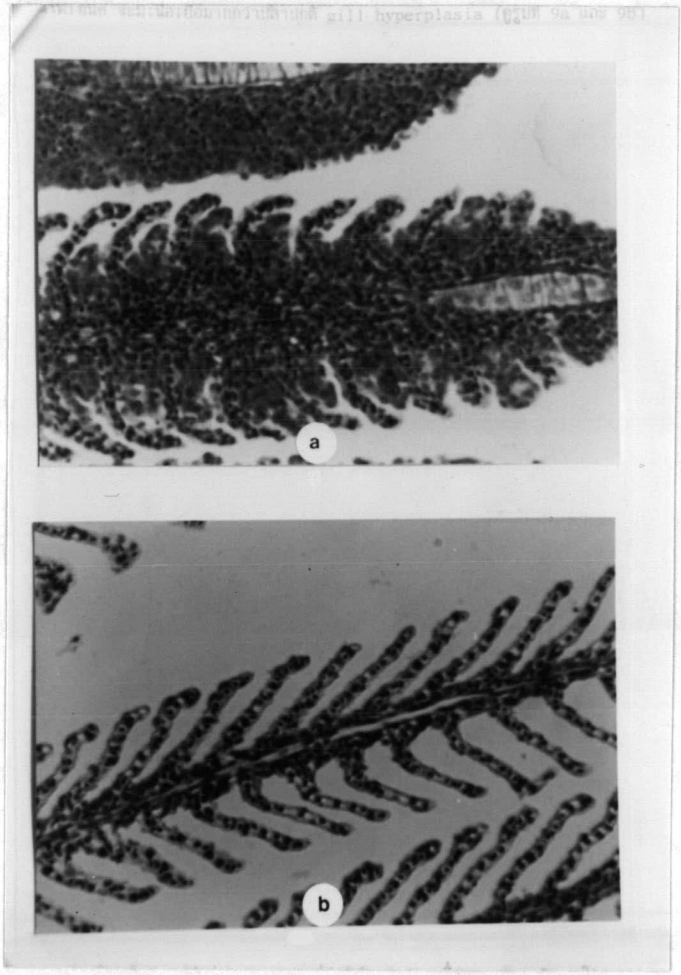
ตารางที่ 10 กลุ่มอาการของเซลตับของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคต่างกัน 5 ระดับ

ระดับกรดแพนโตเทนิค (มก./กก.อาหารแห้ง)	กลุ่มอาการที่พบ
0	ขอบเขตของ Parenchymal cells, นิวเคลียสของเซลตับมีขนาดแตกต่างกันมากในบางบริเวณนิวเคลียสฝ่อ บางบริเวณเกิดการบวมพองของนิวเคลียส (nucleolar hypertrophy) มีการสะสมของ eosinophilic material ในเซลตับ การเรียงตัวของเซลตับผิดปกติ และมี Fibroblast cells ในบางบริเวณ
15	ปกติ
30	ปกติ
60	ปกติ
90	ปกติ



รูปที่ 8 อาการผิดปกติของเซลตับปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรที่ขาดกรดแพนโตเทนิค a: เซลตับปกติ, b,c: เซลตับปลากะพงขาวที่ขาดกรดแพนโตเทนิคทำให้นิวเคลียสมีขนาดไม่แน่นอน หรือเกิด nucleolar hypertrophy, เซลตับของปลากะพงขาวมีการเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ และมีขอบเขตของเซลไม่แน่นอน, d: เซลตับของปลากะพงขาวที่มี fibroblast cells เกิดขึ้น (x400)

สำหรับเนื้อเยื่อเหงือกพบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรที่ขาดกรดแพนโตเทนิค จะมีเนื้อเยื่อมากกว่าปลาปกติ gill hyperplasia (ดูรูปที่ 9a และ 9b)



รูปที่ 9 เนื่อเยื่อเหงือกของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรที่ขาดกรดแพนโตเทนิค ในสัปดาห์ที่ 6 (a) เทียบกับเหงือกปลาปกติ (b) (x400)

ม.ล.ล.ย.ศ.

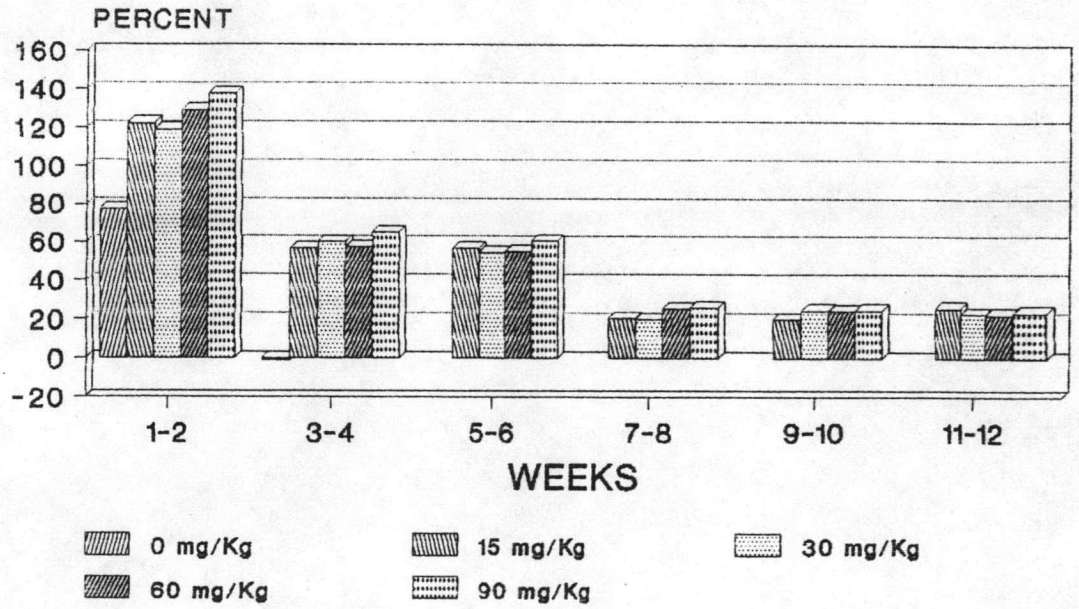
2 การทดลองที่ 2

ใช้ปลาทดลองขนาดเล็กกว่าการทดลองที่ 1 คือมีน้ำหนักเฉลี่ย 2.7 กรัม/ตัว ทำการทดลองในตู้กระจกที่มีขนาด 30 x 60 x 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้ระบบน้ำแบบไหลผ่านตลอด มีอัตราการไหล 0.7 ลิตร/นาที มีความเค็มของน้ำตลอดการทดลอง 30.0-31.5 ส่วนในพัน อุณหภูมิน้ำ 24-29 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่าง 7.8-8.2

2.1 **อัตราการเติบโต** จากตารางที่ 11 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักปลา ($P<0.01$) เริ่มตั้งแต่ช่วงสัปดาห์ที่ 1-2 ของการทดลอง โดยที่อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่ได้ใส่กรดแพนโตเทนิคจะน้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคในระดับ 15, 30, 60 และ 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้ง ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคในระดับ 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้ง พบว่ามีอัตราการเติบโตดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ในสัปดาห์ที่ 3-4 ของการทดลองอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ขาดกรดแพนโตเทนิคมีค่าต่ำมาจนมีค่าเป็นลบ แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ในสัปดาห์ที่ 5 จนสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 พบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิค 15, 30, 60 และ 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้งมีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิค 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้งจะให้อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคทุกระดับแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อคิดอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองตั้งแต่เริ่มการทดลองจนสิ้นสุดการทดลอง พบว่าอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิค 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้ง มีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักดีที่สุด ($P<0.05$)

ตารางที่ 11 อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเฉลี่ยของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคต่างกัน 5 ระดับเป็นเวลา 12 สัปดาห์

ระดับกรดแพนโตเทนิค	อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเฉลี่ยในช่วงสัปดาห์ที่						
(มก./กก.อาหารแห้ง)	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	0-12
0	77.50±7.92[a]	-1.19± 2.21[a]					
15	122.56±2.26[a]	56.76±10.66[b]	56.77±16.96	20.67±2.98	19.94±3.14	25.95±3.31	892.34± 65.87[a]
30	119.12±3.79[a]	60.17± 7.54[b]	54.55± 3.64	20.22±0.45	24.84±3.75	22.87±1.06	889.29± 36.24[a]
60	129.20±6.21[a]	57.59± 1.84[b]	55.25± 2.07	25.47±2.85	24.42±2.29	22.57±1.35	948.24± 25.58[a]
90	137.98±2.07[c]	65.44± 7.88[c]	60.78± 3.83	26.20±4.15	24.80±2.99	23.75±1.57	1142.01±145.46[b]

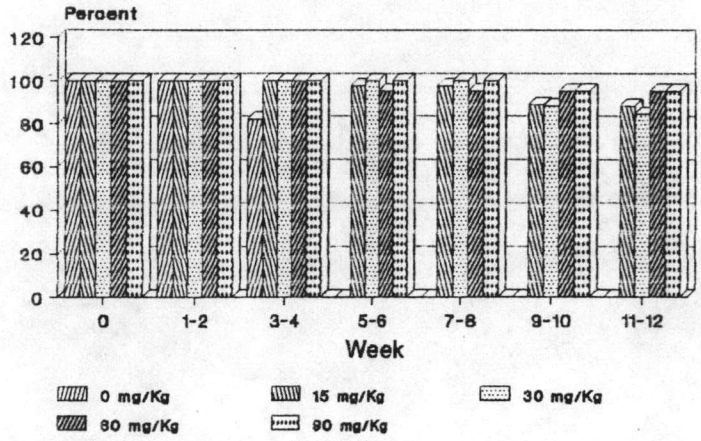


รูปที่ 10 อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคต่างกัน 5 ระดับ เป็นเวลา12 สัปดาห์

2.2 **อัตราการรอด** จากตารางที่ 12 พบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้ใส่กรดแพนโตเทนิคเริ่มมีการตายเกิดขึ้นในปลายสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลองโดยมีอัตราการรอดต่ำกว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) จนในปลายสัปดาห์ที่ 6 ของการทดลองพบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้ใส่กรดแพนโตเทนิคมีอัตราการตายสูงถึง 100 เปอร์เซนต์ ส่วนอัตราการรอดของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิค 15, 30, 60 และ 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัมมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ตารางที่ 12 อัตราการรอดของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคต่างกัน 5 ระดับเป็นเวลา 12 สัปดาห์

ระดับกรดแพนโตเทนิค (มก./กก.อาหารแห้ง)	อัตราการรอด ของปลากะพงขาวในปลายสัปดาห์ที่ (%)					
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
0	100	82.22[a]	0	0	0	0
15	100	100[b]	97.77	97.77	88.89	88.66
30	100	100[b]	100	100	88.66	84.45
60	100	100[b]	95.53	95.53	95.53	95.53
90	100	100[b]	100	100	95.53	95.53

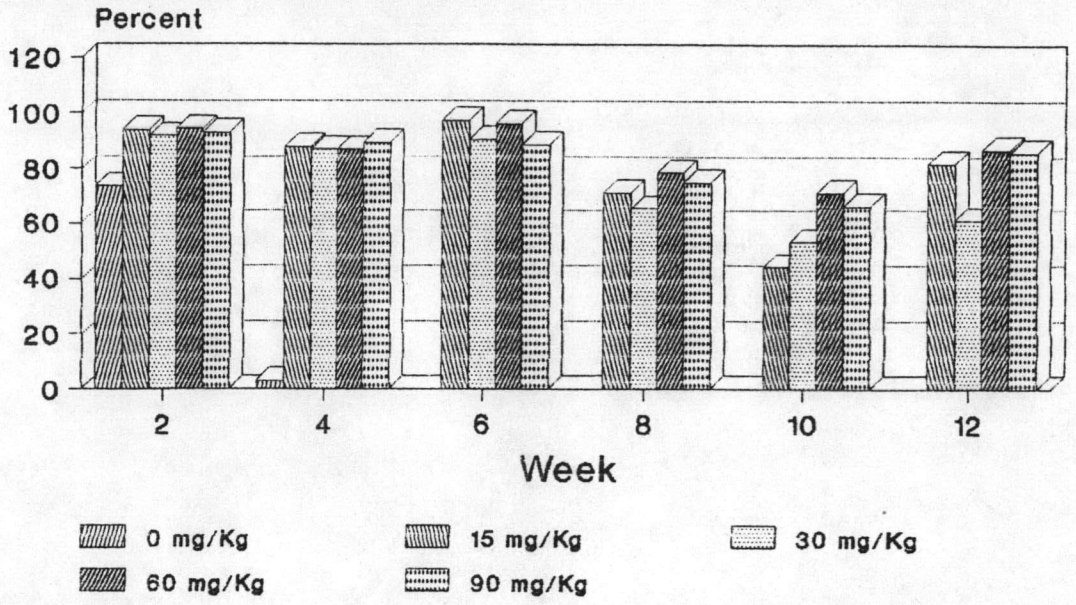


รูปที่ 11 อัตราการรอดของปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับกรดแพนโตเทนิคต่างกัน 5 ระดับ เป็นเวลา 12 สัปดาห์

2.3 ประสิทธิภาพอาหาร จากตารางที่ 13 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอาหารทดลองเกิดขึ้นเริ่มตั้งแต่ช่วงปลายสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง โดยที่ ประสิทธิภาพของปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้ใส่กรดแพนโตเทนิคมีค่าต่ำสุด และต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคในระดับ 15, 30, 60 และ 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อปลาที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ทางสถิติ($P>0.05$)

ตารางที่ 13 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อปลาของอาหารทดลองที่มีกรดแพนโตเทนิคต่างกัน 5 ระดับเป็นเวลา 12 สัปดาห์

ระดับกรดแพนโตเทนิค	ประสิทธิภาพอาหารในช่วงสัปดาห์ที่ (%)					
(มก./กก.อาหารแห้ง)	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
0	73.69+8.00^{a}	3.04+18.60^{a}				
15	94.15+4.17^{b}	88.05+20.49^{b}	97.66+14.47^{a}	71.42+4.86^{a}	44.23+30.19^{a}	82.03+ 7.37^{a}
30	92.05+1.20^{b}	87.24+ 7.56^{b}	90.68+ 8.63^{a}	65.52+3.96^{a}	53.48+26.49^{a}	61.15+19.36^{a}
60	94.72+3.10^{b}	87.10+ 1.69^{b}	96.40+ 4.39^{a}	78.79+9.34^{a}	71.46+ 6.80^{a}	87.29+ 6.60^{a}
90	93.38+4.18^{b}	89.54+ 8.96^{b}	88.92+18.04^{a}	75.23+6.16^{a}	66.43+16.47^{a}	86.19+ 9.92^{a}

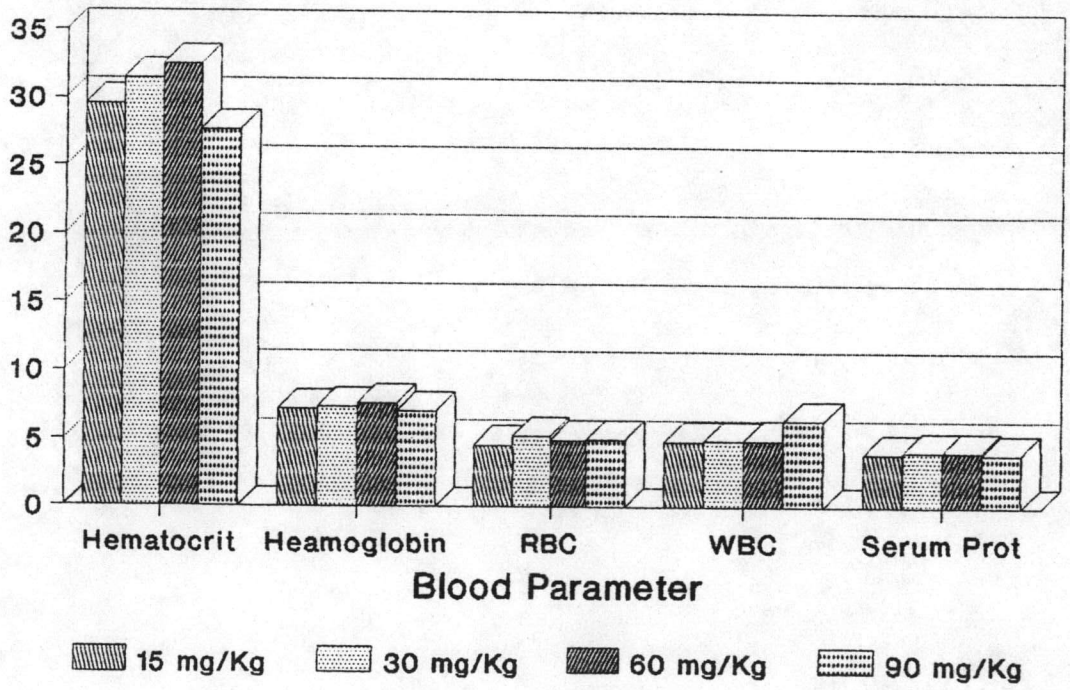


รูปที่ 12 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อปลาของอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคต่างกัน 5 ระดับเป็นเวลา 12 สัปดาห์

2.4 **การศึกษาทางโลหิตวิทยา** เมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 ทำการเจาะเลือดปลาทดลองพบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคในระดับ 15, 30, 60 และ 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ให้ค่าปริมาณฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต ปริมาณซีรัมโปรตีน ปริมาณเม็ดเลือดแดง และ ปริมาณเม็ดเลือดขาว ที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังตารางที่ 14 ส่วนปลาที่ขาดกรดแพนโตเทนิคนั้นไม่สามารถทำการเจาะเลือดได้เนื่องจากปลาตายหมดในปลายสัปดาห์ที่ 6 ของการทดลอง

ตารางที่ 14 ปริมาณ ฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต ซีรัมโปรตีน ปริมาณเม็ดเลือดแดง และ ปริมาณเม็ดเลือดขาวของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคต่างกัน 5 ระดับ เป็นเวลา 12 สัปดาห์

ระดับกรดแพนโตเทนิค (มก./กก.อาหารแห้ง)	ฮีโมโกลบิน (กรัม / 100 มิลลิลิตร)	ฮีมาโตคริต (%)	ซีรัมโปรตีน (กรัม / 100 มิลลิลิตร)	เม็ดเลือดแดง ($x10^6$เซลล์ /มิลลิลิตร)	เม็ดเลือดขาว ($x10^4$เซลล์ /มิลลิลิตร)
0	-	-	-	-	-
15	7.17^a	29.58^a	3.99^a	4.56^a	4.88^a
30	7.37^a	31.44^a	4.10^a	5.22^a	4.90^a
60	7.59^a	32.50^a	4.12^a	4.96^a	4.96^a
90	7.05^a	27.69^a	3.96^a	4.97^a	6.41^a

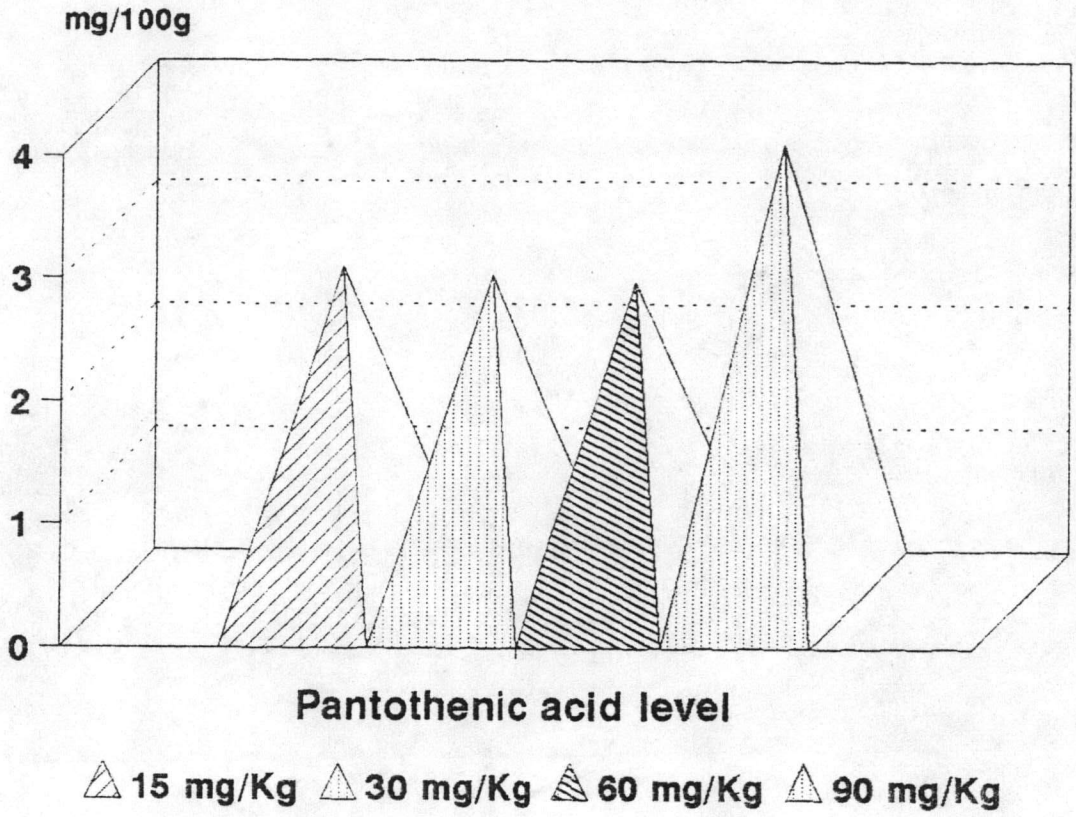


รูปที่ 13 ค่าฮีมาโตคริต ฮีโมโกลบิน ซีรัมโปรตีน ปริมาณเม็ดเลือดขาว และปริมาณเม็ดเลือดแดงของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคต่างกัน 5 ระดับ

2.5 **ปริมาณกรดแพนโตเทนิคที่สะสมในตับ** จากตารางที่ 15 พบว่าปลากะพงขาวที่ขาดกรดแพนโตเทนิคตายหมดก่อนที่จะปิดการทดลอง ดังนั้นจึงไม่มีค่าปริมาณกรดแพนโตเทนิคที่สะสมในตับของปลาที่ขาดกรดแพนโตเทนิค แต่พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับกรดแพนโตเทนิค 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้ง มีค่าปริมาณกรดแพนโตเทนิคที่สะสมในตับสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีกรดแแพนโตเทนิคในระดับอื่นๆ คือ 15, 30, 30 และ 60 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหารแห้ง

ตารางที่ 15 แสดงปริมาณกรดแพนโตเทนิคที่สะสมในตับปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีกรดแพนโตเทนิคต่างกัน 5 ระดับเป็นเวลา 12 สัปดาห์

ระดับกรดแพนโตเทนิค (มก./กก.อาหารแห้ง)	ปริมาณกรดแพนโตเทนิคที่สะสมในตับ (มิลลิกรัม / 100 กรัม)
0	-
15	2.71
30	2.64
60	2.58
90	3.71



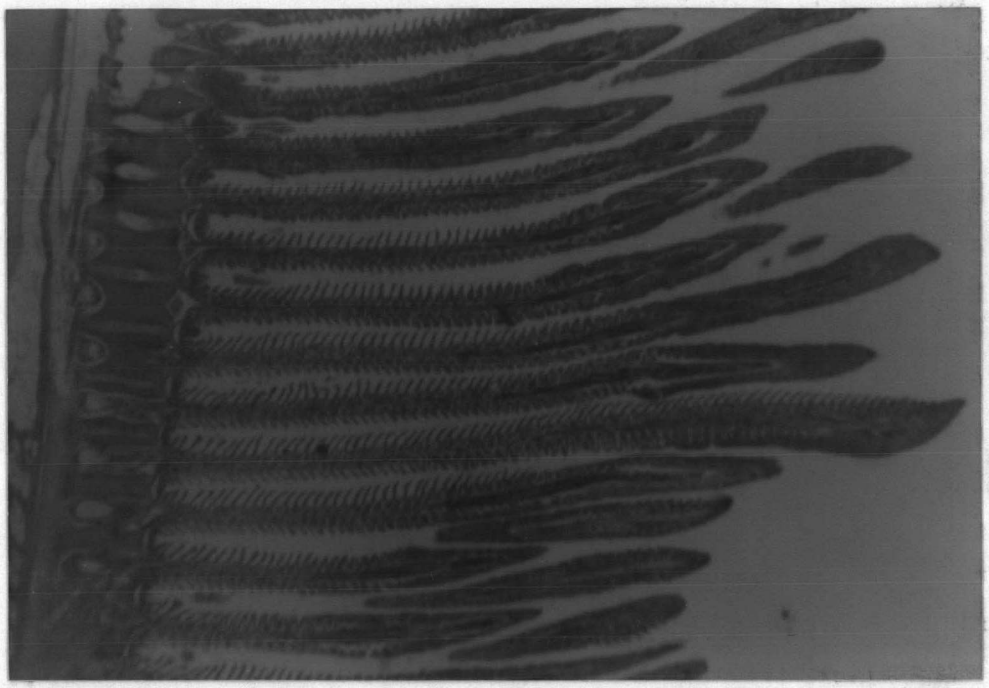
รูปที่ 14 ปริมาณกรดแพนโธเทนิคที่สะสมในตับปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีกรดแพนโธเทนิคต่างกัน 5 ระดับเป็นเวลา 12 สัปดาห์

2.6 การเปลี่ยนแปลงทางมิญชวิทยาของเนื้อเยื่อเหงือก ตับ กล้ามเนื้อและผิวหนัง

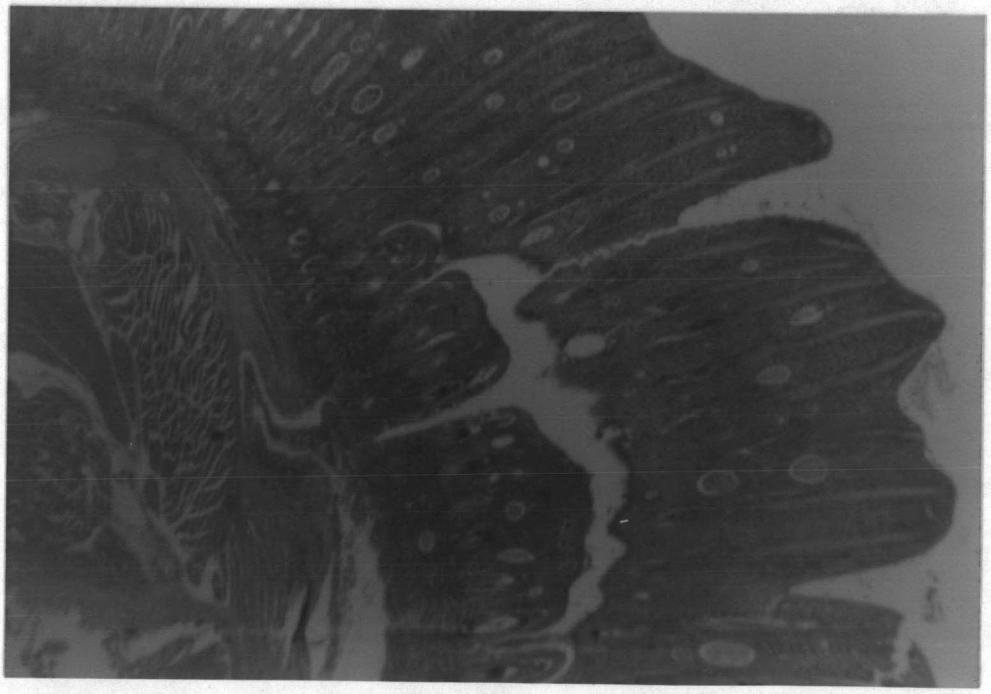
เหงือก อาการผิดปกติของเหงือกเนื่องจากการขาดกรดแพนโธเทนิคมีดังนี้คือ เนื้อเยื่อเหงือกจะมีการเพิ่มจำนวนเซลของเยื่อบุผิว (cell hyperplasia) ทั้งในส่วนของ primary และ secondary lamellae ซึ่งทำให้เกิดการเชื่อมติดกัน (fusion) ของซี่เหงือกทั้ง 2 ส่วน และจากการเชื่อมติดกันของ secondary lamellae นี้ จะทำให้ซี่เหงือกมีรูปร่างคล้ายตะบอง (club shape formation) (รูปที่ 17) การเกิด club shape formation นี้ ถ้าปลาขาดกรดแพนโธเทนิคอย่างรุนแรงแล้ว primary lamellae ก็จะเชื่อมติดกันด้วย (รูปที่ 18)

รูปที่ 15 เหงือกของปลากะพงขาวที่ขาดกรดแพนโตเทนิคในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง เกิด gill hyperplasia เนื่องจาก chloride cell (ศรชี้) มีขนาดใหญ่กว่าปกติ (เกิด hypertrophy) (ศรชี้) จนทำให้ secondary lamellae เชื่อมติดกัน(x200)

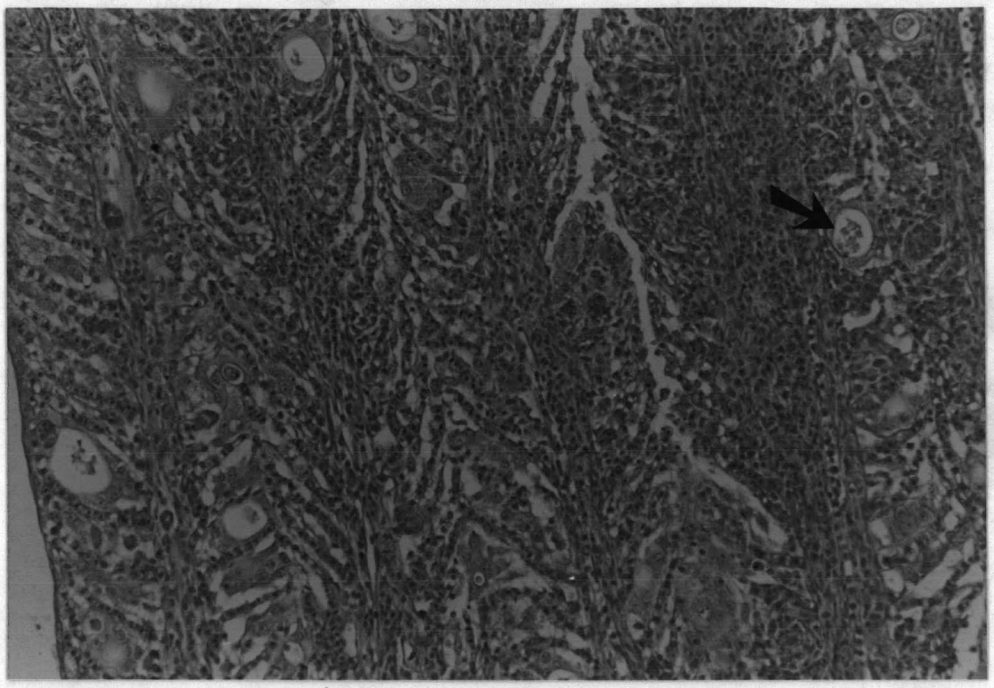
รูปที่ 16 เหงือกของปลากะพงขาวที่ขาดกรดแพนโตเทนิคในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลองเกิด gill hyperplasia เนื่องจากการที่ epithelial cell ของเหงือกแบ่งเซลเพิ่มขยายตัวมากขึ้น (ศรชี้) จนทำให้ secondary lamellae เชื่อมติดกัน (x200)



รูปที่ 17 เหงือกของปลากะพงขาวที่ขาดกรดแพนโตเทนิคในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง เกิดการเชื่อมติดกันของ secondary lamellae ทำให้เหงือกเกิด club shape formation ขึ้น (x40)

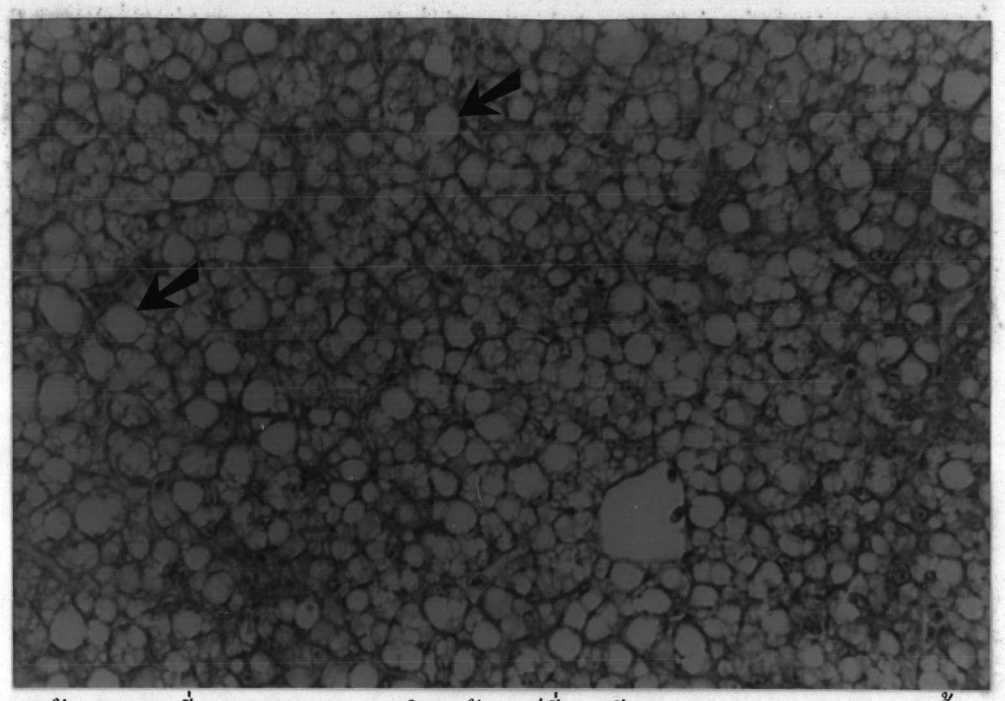


รูปที่ 18 การเกิด club shape formation ในปลาที่ขาดกรดแพนโตเทนิคอย่างรุนแรง ในสัปดาห์ที่ 4 ทำให้ primary lamellae เชื่อมติดกัน (x40)



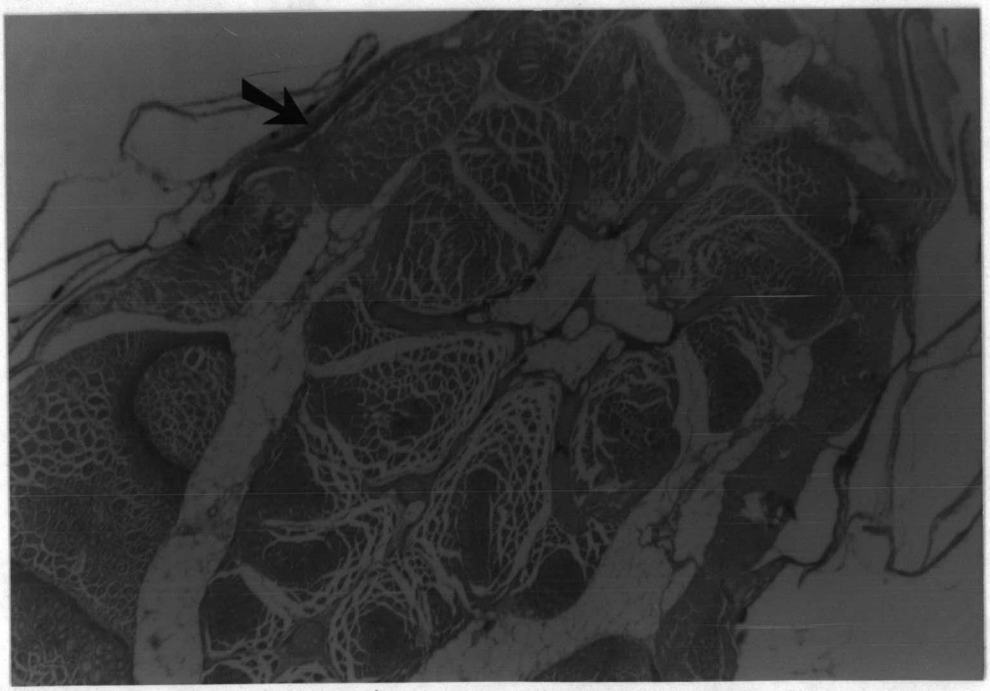
รูปที่ 19 เหงือกของปลากะพงขาวที่ขาดกรดแพนโตเทนิคอย่างรุนแรงในสัปดาห์ที่ 4 จนทำให้ทั้ง primary และ secondary lamellae เชื่อมติดกัน เป็นผลทำให้บางบริเวณเกิดช่องว่างภายในส่วนที่เกิด club shape formation (ศรชี้) ซึ่งภายในช่องว่างเหล่านี้จะมี เศษเซล เศษเม็ดเลือดตกค้างอยู่ภายใน (x200)

ตับ เซลตับของปลาที่ขาดกรดแพนโตเทนิคจะมีช่องว่าง (vacuole) เกิดขึ้นมาก (highly vacuolation) เนื่องจากมีการสะสมตัวของไขมันภายในเซลเกิดขึ้น (รูปที่ 20)

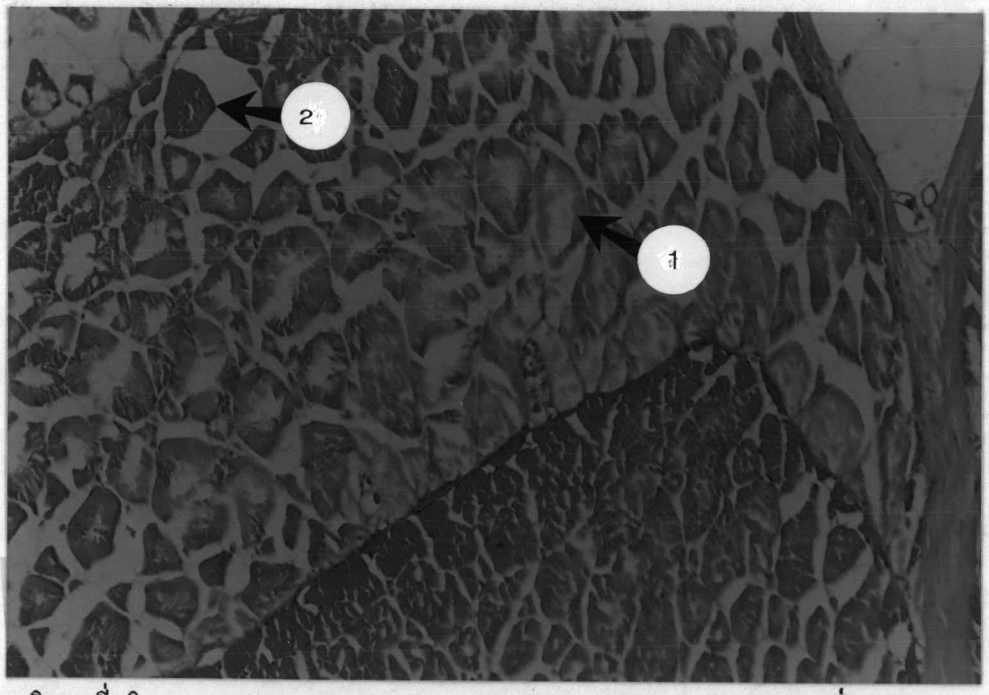


รูปที่ 20 เซลตับของปลาที่ขาดกรดแพนโตเทนิคในสัปดาห์ที่ 4 มีช่องว่าง (vacuole, ศรชี้) เกิดขึ้น ซึ่งภายในช่องว่างนี้มีการสะสมตัวของ fat body ดันนิวเคลียสของเซลไปติดกับผนังเซล (x400)

กล้ามเนื้อและผิวหนัง บริเวณผิวหนังของปลาที่ขาดกรดแพนโตเทนิคจะมีการตกเลือดเกิดขึ้น (รูปที่ 21) ทำให้มีเม็ดเลือดแดงรวมตัวอยู่หนาแน่นเป็นหย่อมๆ ในส่วนของกล้ามเนื้อ พบว่ามีการสลายตัวของกล้ามเนื้อบางส่วน (degeneration of muscular tissue) (รูปที่ 22)

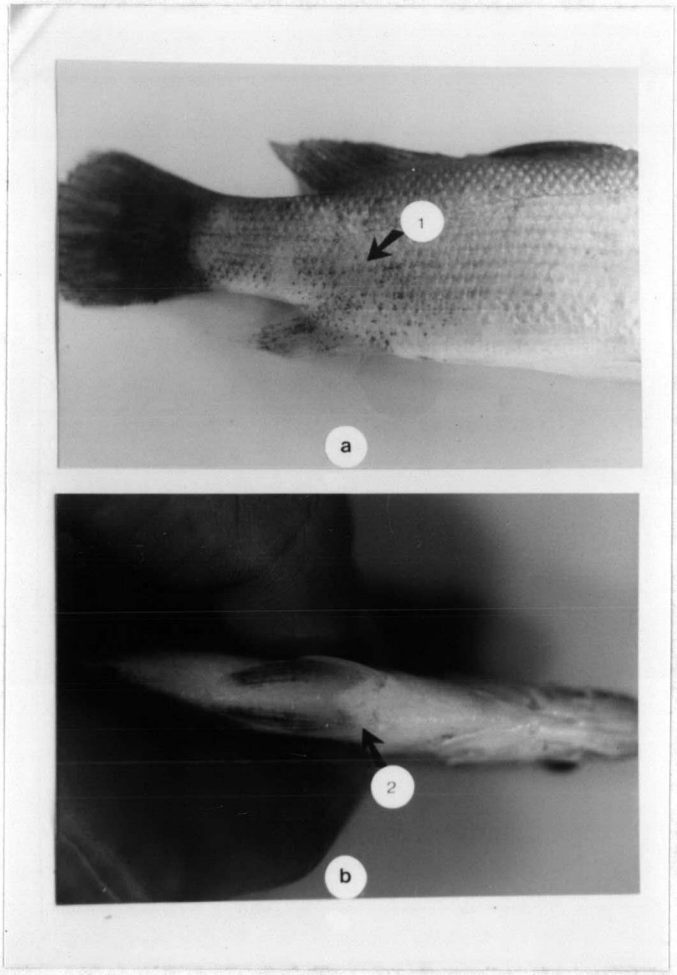


รูปที่ 21 บริเวณผิวหนังของปลากะพงขาวที่ขาดกรดแพนโตเทนิคในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง พบว่าเกิดการตกเลือดเห็นเป็นแถบสีแดงคล้ำเนื่องจากมีเม็ดเลือดแดงรวมตัวกันอย่างหนาแน่น (ศรชี้) (x200)

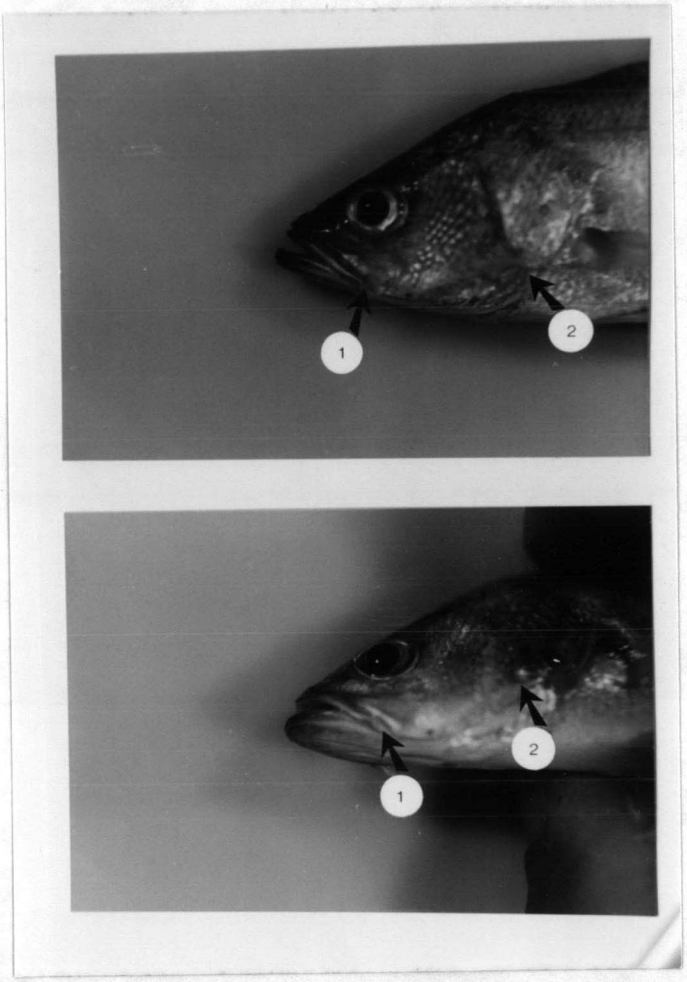


รูปที่ 22 บริเวณที่เกิด degeneration of muscular tissue ของปลาที่ขาดกรดแพนโตเทนิคในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลองจะเห็นว่ากล้ามเนื้อจะมีการเรียงตัวเป็นมัดๆ บริเวณที่มีการเกิด degeneration of muscular tissue ตรงกลางของมัดกล้ามเนื้อจะย้อมติดสีจาง (ศรชี้ที่ 1)ส่วนบริเวณที่ไม่เกิด degeneration of muscular tissue ก็จะย้อมติดสีเข้มเป็นปกติ (ศรชี้ที่ 2) (X200)

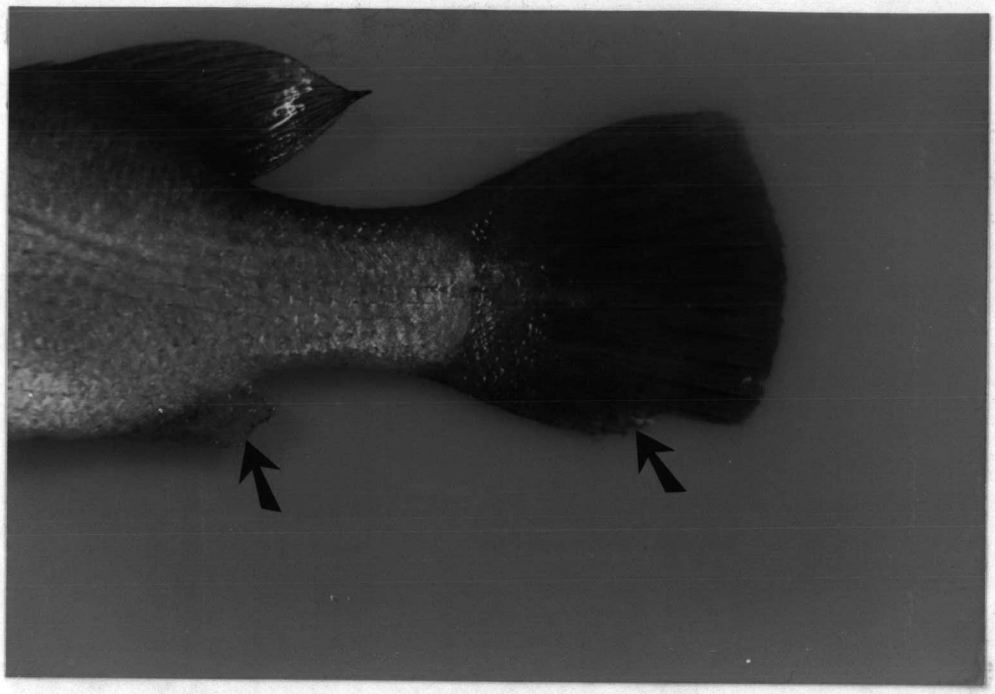
3.กลุ่มอาการของปลากะพงขาวที่ขาดกรดแพนโตเทนิคที่สังเกตเห็นได้ ปลากะพงขาวที่ขาดกรดแพนโตเทนิคมีอาการภายนอกที่สังเกตได้ชัดเจนคือ ตกเลือดและเป็นแผลตามตัว (skin lession) (รูปที่ 23 a,b) ตกเลือดตามครีบต่างๆ (รูปที่ 23 b และ 25) ตกเลือดที่ปาก ฝาปิดเหงือก (รูปที่ 24) ครีบกร่อน (รูปที่ 25) ว่ายน้ำไร้ทิศทางและลอยตัวตามผิวน้ำ (รูปที่ 26) หายใจเร็วกว่าปกติ เบื่ออาหาร และผอม



รูปที่ 23 a: อาการตกเลือดและเป็นแผลตามตัวของปลากะพงขาวที่ขาดกรดแพนโตเทนิค สังเกตเห็นเป็นรอยแผลสีแดงบริเวณลำตัว (ศรชี้ที่ 1), b: การตกเลือดบริเวณครีบอก (ศรชี้ที่ 2)



รูปที่ 24 อาการตกเลือดที่ปาก (ศรชี้ที่ 1) ฝาปิดเหงือก (ศรชี้ที่ 2)ของปลากะพงขาวที่ขาดกรดแพนโตเทนิค (บริเวณที่ตกเลือดจะเป็นสีแดง)



รูปที่ 25 อาการตกเลือด และครีบกร่อนของปลากะพงขาวที่ขาดกรดแพนโตเทนิค (ศรชี้) บริเวณครีบหางและครีบทวารแหว่งขาด และมีสีแดง

รูปที่ 26 อาการลอยตัวอยู่บริเวณผิวน้ำของปลาที่ขาดกรดแพนโตเทนิค