บทที่ 3

ผลการทดลอง

3.1 ส่วนประกอบทางโภชนาการของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการของอาหารทดลองสูตรต่างๆ แสดงในตารางที่ 4 โดยอาหารสูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) และ 2 ถึง 6 (แทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่ระดับ 10 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์) เป็นอาหารสำเร็จรูปที่มีโปรตีนอยู่ในช่วง 43.25±0.16 ถึง 43.44±0.62 เปอร์เซ็นต์ ไขมันอยู่ในช่วง 11.72±0.03 ถึง 12.26±0.05 เปอร์เซ็นต์ เถ้าอยู่ในช่วง 15.65±0.06 ถึง 18.63±0.38 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 1.95-2.64 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นอยู่ในช่วง 2.01±0.01 ถึง 5.96±0.23 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาเป็ด มีโปรตีน, ไขมัน, เถ้า, ฟอสฟอรัส และความชื้น ที่ระดับ 84.73±0.15, 5.44±0.05, 8.08±0.10, 1.50 และ 76.16±0.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3.2 ความผิดปกติ และพฤติกรรมของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ และปลาเป็ด

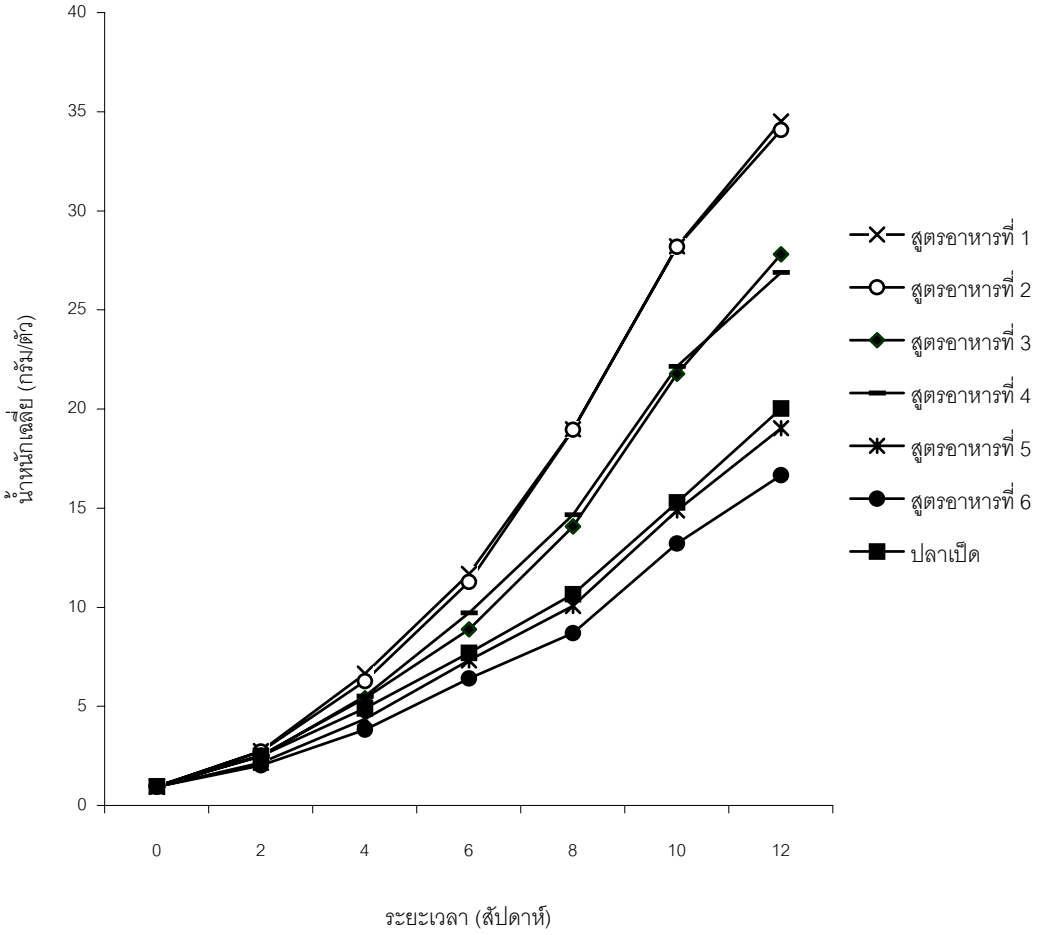
ปลากะพงขาวที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหาร เริ่มแสดงความผิดปกติของลักษณะภายนอกในสัปดาห์ที่ 6 ของการทดลอง โดยพบว่าปลาบางตัวมีอาการตัวดำ การยอมรับอาหารน้อยลงและเริ่มมีการตายเนื่องจากอาการดังกล่าวในสัปดาห์ที่ 8 ของการทดลอง โดยอาการผิดปกติและอัตราการตายของปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหารมีเพิ่มมากขึ้นในสัปดาห์ที่ 10 ถึง 12 ของการทดลอง สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 6 ไม่พบความผิดปกติภายนอก แต่ปลาที่ได้รับอาหารที่มีถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบในอาหารที่ระดับ 10 (สูตรที่ 2) ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 6) มีแนวโน้มพฤติกรรมความอยากกินอาหารลดน้อยลงเล็กน้อย และเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของโครมิกซ์ออกไซด์ในการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน พบว่าปลามีพฤติกรรมความอยากกินอาหารทุกสูตรลดน้อยลงไปอีก เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการตรวจดูอวัยวะภายใน พบว่า ปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหารมีอวัยวะภายในซีดโดยเฉพาะในส่วนของตับมีขนาดเล็กและสีเหลืองซีด สำหรับปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 ถึง 6 ไม่พบความผิดปกติของอวัยวะภายใน

3.3 การเจริญเติบโต

น้ำหนักเฉลี่ยของปลาทุก 2 สัปดาห์ ตลอดระยะเวลาการศึกษา 12 สัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 1 ในสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง พบว่า ปลาเริ่มมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1, 2, 3, 4 และปลาเป็ด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P\geq0.05$) ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ย 2.75$\pm$0.16, 2.72$\pm$0.02, 2.53$\pm$0.32, 2.48$\pm$0.10 และ 2.49$\pm$0.12 กรัมต่อตัว ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 และ 6 ที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 2.16$\pm$0.14 และ 2.02$\pm$0.08 กรัมต่อตัว ตามลำดับ

ในสัปดาห์ที่ 4-6 ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) และ 2 มีการเจริญเติบโตดีใกล้เคียงกัน โดยในสัปดาห์ที่ 6 มีน้ำหนักเฉลี่ย 11.67$\pm$0.72 และ 11.29$\pm$0.33 กรัมต่อตัว ตามลำดับ รองลงมาคือ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4, 3 และปลาเป็ด ที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 9.71$\pm$0.56, 8.88$\pm$1.22 และ 7.71$\pm$0.63 กรัมต่อตัว ตามลำดับ สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 6.40$\pm$0.46 กรัมต่อตัว ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติ ($P\geq0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 ที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 7.31$\pm$0.56 กรัมต่อตัว

สำหรับสัปดาห์ที่ 8-12 มีการเจริญเติบโตในลักษณะเดียวกัน โดยในสัปดาห์ที่ 12 น้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) และ 2 มีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน มีน้ำหนักเฉลี่ย 34.51$\pm$1.57 และ 34.08$\pm$0.59 กรัมต่อตัว ตามลำดับ รองลงมาคือ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 และ 4 ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ย 27.81$\pm$3.13 และ 26.90$\pm$1.97 กรัมต่อตัว ตามลำดับ สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 มีการเจริญเติบโตต่ำที่สุด 16.65$\pm$1.90 กรัมต่อตัว และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P\geq0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 และปลาเป็ด ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว 19.03$\pm$1.99 และ 20.02$\pm$2.36 กรัมต่อตัว ตามลำดับ



ภาพที่ 1 น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/ตัว) ของปลากะพงขาว ที่เลี้ยงโดยอาหารที่มีโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่ระดับต่าง ๆ และปลาเป็ด ทุก 2 สัปดาห์ตลอดระยะเวลา 12 สัปดาห์

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตรและปลาเป็ด เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ แสดงไว้ในตารางที่ 6 โดยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) มีค่า 3550.99±327.62 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P\geq0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ที่มีค่า 3368.90±102.02 เปอร์เซ็นต์ แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 6 และปลาเป็ด โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 มีค่าดังกล่าวไม่แตกต่างทางสถิติ ($P\geq0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 ซึ่งมีค่า 2796.10±384.89 และ 2616.89±230.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5, 6 และปลาเป็ด มีค่าดังกล่าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P\geq0.05$) โดยมีค่า 1921.00±203.13, 1651.44±228.88 และ 2003.66±322.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สำหรับอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) และ 2 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะดีที่สุดใกล้เคียงกัน คือ 4.28±0.10 และ 4.22±0.03 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ รองลงมา คือ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 และ 4 ที่มีค่าดังกล่าวเท่ากับ 4.00±0.16 และ 3.93±0.10 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5, 6 และปลาเป็ด มีการเจริญเติบโตช้า โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำที่สุดเท่ากับ 3.40±0.16 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน

อัตรารอดตายของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 6 อยู่ในช่วง 91.11±7.70 ถึง 97.78±3.85 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P\geq0.05$) และมีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหารอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ซึ่งมีอัตรารอดตายเพียง 51.11±31.51 เปอร์เซ็นต์

3.4 น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (as-fed basis) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (as-fed basis) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทั้ง 6 สูตรและปลาเป็ด เป็นเวลา 12 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 7 พบว่าน้ำหนักอาหารที่ปลากินอยู่ในช่วง 20.90$\pm$1.39–55.13$\pm$5.44 กรัมต่อตัว และค่าดังกล่าวมีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง ($P<0.05$) โดยปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหารมีค่าสูงที่สุดคือ 55.13$\pm$5.44 กรัมต่อตัว รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 4 มีค่าอยู่ในช่วง 35.17$\pm$0.23 ถึง 27.88$\pm$3.49 กรัมต่อตัว โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 มีค่าต่ำที่สุดคือ 20.90$\pm$1.39 กรัมต่อตัว ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P\geq0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 ซึ่งมีค่า 21.82$\pm$1.66 กรัมต่อตัว สำหรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เท่ากับ 33.56$\pm$1.61 กรัมต่อตัว โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 มีค่าต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เท่ากับ 15.70$\pm$1.92 กรัมต่อตัว

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีค่าดังกล่าวต่ำที่สุดเท่ากับ 1.03$\pm$0.003 และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P\geq0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ถึง 4 ที่มีค่า 1.06$\pm$0.017 1.04$\pm$0.04 และ 1.11$\pm$0.017 ตามลำดับ โดยปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหารมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงที่สุดเท่ากับ 2.90$\pm$0.172

ตารางที่ 7 น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (as-fed basis) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่ระดับต่าง ๆ และปลาเป็ดเป็นเวลา 12 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัมต่อตัว)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัมต่อตัว)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ[2]
1(สูตรควบคุม)	34.76±1.71^{b}	33.56±1.61^{a}	1.03±0.003^{d}
2(10)[3]	35.17±0.23^{b}	33.09±0.59^{a}	1.06±0.017^{cd}
3(20)	27.88±3.49^{c}	26.84±3.14^{b}	1.04±0.040^{d}
4(30)	28.80±2.17^{c}	25.91±1.98^{b}	1.11±0.017^{cd}
5(40)	21.82±1.66^{d}	18.09±1.97^{c}	1.21±0.073^{bc}
6(50)	20.90±1.39^{d}	15.70±1.92^{c}	1.34±0.082^{b}
ปลาเป็ด	55.13±5.44^{a}	19.06±2.39^{c}	2.90±0.172^{a}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P \geq 0.05$)

[2]อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ = น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัมต่อตัว) / น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัมต่อตัว)

[3]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่แทนที่โปรตีนจากปลาป่น

3.5 ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ และค่าดัชนีตับต่อตัว

ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ และค่าดัชนีตับต่อตัวของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทั้ง 6 สูตรและปลาเป็ด เป็นเวลา 12 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 8 พบว่าประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 3 มีประสิทธิภาพการใช้อาหารใกล้เคียงกัน โดยมีค่า 0.97±0.003, 0.94±0.01 และ 0.96±0.04 ตามลำดับ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 ซึ่งมีค่า 0.90±0.01 แต่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5, 6 และปลาเป็ด มีค่าดังกล่าวแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่า 0.83±0.05, 0.75±0.04 และ 0.35±0.02 ตามลำดับ และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 4

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 6 และปลาเป็ด พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 3 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) โดยมีค่า 2.37±0.01, 2.31±0.04 และ 2.33±0.09 ตามลำดับ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 ถึง 6 และปลาเป็ด มีค่าดังกล่าวแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่า 2.18±0.03, 1.95±0.12, 1.77±0.11 และ 0.42±0.02 ตามลำดับ และมีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 3 อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ของปลาที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ และปลาเป็ด พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) และ 2 มีค่าดังกล่าวใกล้เคียงกัน คือ 47.67±0.92 และ 45.70±1.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รองลงมา คือ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 และ 4 ซึ่งมีค่า 42.62±1.88 และ 41.24±1.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยปลาที่ได้รับปลาเป็ดมีค่าดังกล่าวต่ำที่สุดคือ 31.72±1.80 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 ซึ่งมีค่า 32.62±1.81 เปอร์เซ็นต์

และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีตับต่อตัว พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีค่าดัชนีตับต่อตัวสูงที่สุดมีค่า 1.60±0.15 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าดังกล่าวไม่แตกต่างทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 และ 3 ซึ่งมีค่า 1.40±0.32 และ 1.40±0.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่มีค่าดังกล่าวแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 ถึง 6 และปลาเป็ด ซึ่งมีค่า 1.00±0.06, 0.70±0.23, 1.00±0.10 และ 0.70±0.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3.6 ส่วนประกอบทางโภชนาการของซากปลากะพงขาว

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการของร่างกายปลากะพงขาวก่อนการทดลอง พบว่ามีความชื้น 78.42±0.14 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 68.99±0.76 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 9.73±0.15 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 18.92±0.25 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 9) และผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการของร่างกายปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ตารางที่ 9) พบว่าปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหาร มีค่าความชื้นสูงที่สุดคือ 73.71±0.51 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 ที่มีค่า 72.88±0.62 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นในร่างกายปลาเพิ่มขึ้น โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) มีความชื้นต่ำที่สุดคือ 69.47±0.15 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 (โปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่โปรตีนจากปลาป่น 10 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งมีค่า 70.32±0.71 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3-5 (โปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่โปรตีนจากปลาป่น 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) มีความชื้นใกล้เคียงกัน คือ มีค่า 71.16±0.32, 71.56±0.44 และ 72.08±0.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สำหรับโปรตีนในร่างกายปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหาร มีค่าสูงที่สุดคือ 69.10±1.46 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 ซึ่งมีค่า 67.20±0.83 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1, 2, 4 และ 5 มีค่าดังกล่าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) คือมีค่า 65.48±0.64, 66.11±1.01, 65.27±0.58 และ 66.63±1.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ซึ่งมีค่า 63.08±0.96 เปอร์เซ็นต์

สำหรับไขมันในร่างกายปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหาร และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 4 มีค่าใกล้เคียงกัน คือ 16.22±1.03, 15.08±0.63, 14.33±1.90, 15.54±1.67 และ 14.28±0.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่มีค่าดังกล่าวแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 และ 6 ที่มีค่า 11.69±2.13 และ 11.14±0.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้นปริมาณไขมันในตัวปลามีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันเพิ่มขึ้น

ปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหาร มีเถ้าต่ำที่สุด คือ 14.03±0.06 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 6 ซึ่งเป็นอาหารสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน 0 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเถ้าในตัวปลามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ

ระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันเพิ่มขึ้น โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) มีเถ้า 19.33±0.54 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ถึง 4 ที่มีค่า 19.45±0.28 19.59±0.66 และ 19.98±0.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 และ 6 ซึ่งมีค่า 21.28±0.23 และ 21.37±0.62 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 และ 6 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

ปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหาร มีฟอสฟอรัสต่ำที่สุดคือ 2.28±0.09 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 6 ซึ่งเป็นอาหารสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน 0 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสในตัวปลามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันเพิ่มขึ้น โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) มีฟอสฟอรัส 3.16±0.04 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ถึง 4 ที่มีค่า 3.22±0.00, 3.22±0.10 และ 3.27±0.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 และ 6 ซึ่งมีค่า 3.74±0.04 และ 3.67±0.02 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 และ 6 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

ตารางที่ 9 ส่วนประกอบทางโภชนาการของซากปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่ระดับต่างๆ และปลาเป็ด (% dry matter basis)[1]

สูตรอาหาร	ส่วนประกอบ				
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ฟอสฟอรัส[2]
เริ่มต้น	78.42±0.14	68.99±0.76	9.73±0.15	18.92±0.25	3.10
1(สูตรควบคุม)	69.47±0.15^{e}	65.48±0.64^{b}	15.08±0.63^{a}	19.33±0.54^{b}	3.16±0.04^{b}
2(10)[3]	70.32±0.71^{de}	66.11±1.01^{b}	14.33±1.90^{a}	19.45±0.28^{b}	3.22±0.00^{b}
3(20)	71.16±0.32^{cd}	63.08±0.96^{c}	15.54±1.67^{a}	19.59±0.66^{b}	3.22±0.10^{b}
4(30)	71.56±0.44^{c}	65.27±0.58^{b}	14.28±0.78^{a}	19.98±0.59^{b}	3.27±0.12^{b}
5(40)	72.08±0.60^{bc}	66.63±1.67^{b}	11.69±2.13^{b}	21.28±0.23^{a}	3.74±0.04^{a}
6(50)	72.88±0.62^{ab}	67.20±0.83^{ab}	11.14±0.59^{b}	21.37±0.62^{a}	3.67±0.02^{a}
ปลาเป็ด	73.71±0.51^{a}	69.10±1.46^{a}	16.22±1.03^{a}	14.03±0.06^{c}	2.28±0.09^{c}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P≥ 0.05)

[2]ปริมาณฟอสฟอรัสจากการส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่ศูนย์ปฏิบัติการวิเคราะห์กลาง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 2) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P≥ 0.05)

[3]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่แทนที่โปรตีนจากปลาป่น

3.7 ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่แทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่ระดับแตกต่างกัน (ตารางที่ 10) พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 (ระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน 20 เปอร์เซ็นต์) มีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนสูงที่สุดคือ 91.10±0.56 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 (ระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน 10 เปอร์เซ็นต์) มีค่าดังกล่าวไม่แตกต่างทางสถิติ ($P\geq0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (ระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน 30 เปอร์เซ็นต์) และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1(สูตรควบคุม) โดยมีค่า 89.57±0.91, 89.30±0.38 และ 88.45±0.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 (โปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่โปรตีนจากปลาป่น 50 เปอร์เซ็นต์) มีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนต่ำที่สุดและไม่แตกต่างทางสถิติ ($P\geq0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (โปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่โปรตีนจากปลาป่น 40 เปอร์เซ็นต์) และสูตรควบคุม โดยมีค่า 87.55±0.27 และ 87.74±0.76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารที่มีโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่ระดับต่างๆ ของปลากะพงขาว[1]

สูตรอาหาร	ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน[2] (%)
1 (สูตรควบคุม)	88.45 ± 0.66^{bc}
2 (10)[3]	89.57 ± 0.91^{b}
3 (20)	91.10 ± 0.56^{a}
4 (30)	89.30 ± 0.38^{b}
5 (40)	87.74 ± 0.76^{c}
6 (50)	87.55 ± 0.27^{c}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P\geq0.05$)

[2]ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน (%) = $100 - \left(\frac{\%Cr_2O_3\text{ในอาหาร} \times \%\text{โปรตีนในมูล} \times 100}{\%Cr_2O_3\text{ในมูล} \times \%\text{โปรตีนในอาหาร}} \right)$

[3]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่แทนที่โปรตีนจากปลาป่น

3.8 สิ่งขับถ่ายไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

3.8.1 ปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียและฟอสเฟตที่เวลาต่างๆ กัน และช่วงสูงสุดหลังปลากะพงขาวได้รับอาหาร

3.8.1.1 ปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียและฟอสเฟตที่เวลาต่างๆ กันหลังปลากะพงขาวได้รับอาหาร

ผลการศึกษาปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียที่เวลาต่างๆ กันในตู้ทดลองของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารจำนวน 6 สูตรและปลาเป็ด ที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (ตารางที่ 11) พบว่าหลังจากปลาได้รับอาหารทั้ง 6 สูตรและปลาเป็ด ปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกๆ 2 ชั่วโมง โดยปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหาร มีปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียสูงที่สุดที่ 12 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหารโดยมีค่า 22.96$\pm$9.15 มก.แอมโมเนีย-ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม. และสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 6 ที่เป็นอาหารสำเร็จรูปที่มีโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่โปรตีนจากปลาป่นที่ระดับ 0 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 4.94$\pm$0.54 ถึง 6.19$\pm$0.21 มก.แอมโมเนีย-ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม. โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และ 3 มีแนวโน้มปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียต่อตัวลดลงหลังชั่วโมงที่ 10 แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P\geq0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2, 4, 5 และ 6

สำหรับปริมาณการขับถ่ายฟอสเฟตที่เวลาต่างๆ กัน พบว่า หลังปลาได้รับอาหาร 2 ถึง 12 ชั่วโมง ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 6 และปลาเป็ด มีปริมาณการขับถ่ายฟอสเฟตไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P\geq0.05$) แต่มีแนวโน้มปริมาณการขับถ่ายฟอสเฟตของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 6 เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5, 2 และ 1 มีปริมาณการขับถ่ายฟอสเฟตสูงใกล้เคียงกันคือ 1.26$\pm$0.13, 1.14$\pm$0.66 และ 1.01$\pm$0.96 มก.ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส/กก.ปลา/ชม. ตามลำดับ ส่วนปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหารมีปริมาณการขับถ่ายฟอสเฟตค่อนข้างคงที่ และมีค่าดังกล่าวที่ 12 ชั่วโมงหลังปลาที่ได้รับอาหารต่ำที่สุดคือ 0.12$\pm$0.36 มก.ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส/กก.ปลา/ชม. ดังแสดงในตารางที่ 12

3.8.1.2 ปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนีย และฟอสเฟตของปลากะพงขาวในช่วงสูงสุดที่ 10 และ 12 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหาร

ปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียของปลากะพงขาวช่วงสูงสุดที่ 10 และ 12 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหาร (ตารางที่ 13) พบว่า ปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหาร มีปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียของปลากะพงขาวที่ 10 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหารสูงที่สุดคือ 4.11$\pm$1.30 มก. แอมโมเนีย-ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม. และมีค่าดังกล่าวสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 6 ที่มีค่าอยู่ในช่วง 1.57$\pm$0.44 ถึง 2.17$\pm$0.42 มก.แอมโมเนีย-ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม. โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 มีค่าดังกล่าวต่ำที่สุด

สำหรับปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียของปลากะพงขาวที่ 12 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหารพบว่า ปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหารมีปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียสูงที่สุดคือมีค่า 3.89$\pm$3.29 มก. แอมโมเนีย-ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม. และมีค่าดังกล่าวสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดคือ 1.01$\pm$1.56 มก.แอมโมเนีย-ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม. โดยปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหารและอาหารสูตรที่ 1 มีปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียลดลงจากที่ 10 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหาร ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ถึง 6 มีปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียอยู่ในช่วง 2.56$\pm$0.05 ถึง 2.95$\pm$0.11 มก.แอมโมเนีย-ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม. ซึ่งมีค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้นจากที่ 10 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหาร แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P\geq0.05$) กับปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหาร จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีแหล่งโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันมีปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียช่วงสูงสุดช้ากว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีแหล่งโปรตีนจากปลาป่นเพียงอย่างเดียวและปลาเป็ด

สำหรับปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียชั่วโมงที่ 12 หลังปลาได้รับอาหาร มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับระดับถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่แทนที่ปลาป่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) $r = 0.537$, $n = 18$ (ตารางที่ ข-27)

ตารางที่ 13 ปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนีย (มก.แอมโมเนีย-ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม.) ช่วงสูงสุดที่ 10 และ 12 ชั่วโมงหลังปลากะพงขาวได้รับอาหาร[1]

สูตรอาหาร	ขนาดปลา[2] (กรัม/ตัว)	ระยะเวลาหลังปลาได้รับอาหาร (ชม.)	
		10	12
1(สูตรควบคุม)	34.51±1.57[a]	1.63±0.11[b]	1.01±1.56[b]
2(10)[3]	34.08±0.59[a]	1.72±0.11[b]	2.76±0.03[ab]
3(20)	27.81±3.13[b]	2.17±0.42[b]	2.56±0.05[ab]
4(30)	26.90±1.97[b]	1.81±0.24[b]	2.64±0.51[ab]
5(40)	19.03±1.99[c]	1.74±0.24[b]	2.95±0.11[ab]
6(50)	16.65±1.90[c]	1.57±0.44[b]	2.78±0.28[ab]
ปลาเป็ด	20.02±2.36[c]	4.11±1.30[a]	3.89±3.29[a]

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P≥ 0.05)

[2]ขนาดปลา คือ น้ำหนักเฉลี่ย(กรัม/ตัว) ของปลากะพงขาวช่วงสัปดาห์ที่ 12 ซึ่งเป็นช่วงเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อศึกษาปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียช่วงสูงสุด

[3]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่แทนที่โปรตีนจากปลาป่น

ปริมาณไนไตรท์ช่วงสูงสุดที่ 10 และ12 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหาร (ตารางที่ 14) ปริมาณไนไตรท์ช่วงสูงสุดที่ 10 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหาร พบว่า ตู้ปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหารมีปริมาณไนไตรท์สูงที่สุดคือ 0.060±0.02 มก.ไนไตรท์-ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม. และมีค่าดังกล่าวสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดคือ 0.013±0.01 มก.ไนไตรท์-ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม. สำหรับปริมาณไนไตรท์ช่วงสูงสุดที่ 12 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหาร พบว่า ตู้ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 มีปริมาณไนไตรท์ที่ 12 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหารสูงที่สุดมีค่า 0.265±0.42 มก.ไนไตรท์-ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม. รองลงมาได้แก่ปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหาร ซึ่งมีค่าดังกล่าวเท่ากับ 0.049±0.07 มก.ไนไตรท์ -ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม. โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 มีค่าดังกล่าวต่ำที่สุดคือ 0.017±0.00 มก. ไนไตรท์-ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม.

ซึ่งปริมาณไนไตรท์ที่ 10 และ 12 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหารไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนีย (ที่ 10 ชั่วโมง ค่า r = 0.064, n = 18; ที่ 12 ชั่วโมง ค่า r = 0.181, n = 18) (ตารางที่ ข-27)

ตารางที่ 14 ปริมาณไนไตรท์ (มก.ไนไตรท์-ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม.) ช่วงสูงสุดที่ 10 และ 12 ชั่วโมงหลังปลากะพงขาวได้รับอาหาร[1]

สูตรอาหาร	ระยะเวลาหลังปลาได้รับอาหาร (ชม.)	
	10	12
1(สูตรควบคุม)	0.024±0.01[ab]	0.024±0.01[a]
2(10)[2]	0.013±0.01[b]	0.017±0.00[a]
3(20)	0.026±0.02[ab]	0.036±0.02[a]
4(30)	0.016±0.02[b]	0.265±0.42[a]
5(40)	0.018±0.03[b]	0.038±0.01[a]
6(50)	0.027±0.02[ab]	0.030±0.02[a]
ปลาเป็ด	0.060±0.02[a]	0.049±0.07[a]

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P≥ 0.05)

[2]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่แทนที่โปรตีนจากปลาป่น

ปริมาณไนเตรทช่วงสูงสุดที่ 10 และ 12 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหาร (ตารางที่ 15) พบว่า ตู้ปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหารมีปริมาณไนเตรทสูงที่สุดที่ 10 ชั่วโมง คือมีค่า 0.231±0.11 มก.ไนเตรท-ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม. และมีค่าดังกล่าวไม่แตกต่างทางสถิติ (P≥0.05) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 ซึ่งมีค่า 0.190±0.03 มก.ไนเตรท-ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม. และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 มีค่าดังกล่าวไม่แตกต่างทางสถิติ (P≥0.05) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 3 4 และ 5 ซึ่งมีค่า 0.123±0.01, 0.103±0.05, 0.100±0.02 และ 0.101±0.04 มก.ไนเตรท-ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม. ตามลำดับ โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 มีปริมาณไนเตรทต่ำที่สุดคือ 0.064±0.01 มก.ไนเตรท-ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม.

สำหรับที่ 12 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหาร พบว่า ปริมาณไนเตรทในตู้ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 6 และปลาเป็ด มีค่าดังกล่าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P≥0.05) โดย

มีค่า -0.087±0.11, 0.132±0.02, 0.136±0.06, 0.144±0.04, 0.125±0.10, 0.205±0.07 และ -0.275±0.87 มก.ไนเตรท-ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม. ตามลำดับ แต่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และปลาเป็ด มีปริมาณไนเตรทลดลง ซึ่งปริมาณไนเตรทที่ 12 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหาร มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียที่ 12 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหารอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) $r = 0.756$, $n = 18$ (ตารางที่ ข-27)

ตารางที่ 15 ปริมาณไนเตรท (มก.ไนเตรท-ไนโตรเจน/กก.ปลา/ชม.) ช่วงสูงสุดที่ 10 และ 12 ชั่วโมงหลังปลากะพงขาวได้รับอาหาร[1]

สูตรอาหาร	ระยะเวลาหลังปลาได้รับอาหาร (ชม.)	
	10	12
1(สูตรควบคุม)	0.123±0.01^{bc}	-0.087±0.11^{a}
2(10)[2]	0.064±0.01^{c}	0.132±0.02^{a}
3(20)	0.103±0.05^{bc}	0.136±0.06^{a}
4(30)	0.100±0.02^{bc}	0.144±0.04^{a}
5(40)	0.101±0.04^{bc}	0.125±0.10^{a}
6(50)	0.190±0.03^{ab}	0.205±0.07^{a}
ปลาเป็ด	0.231±0.11^{a}	-0.275±0.87^{a}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P\geq 0.05$)

[2]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่แทนที่โปรตีนจากปลาป่น

สำหรับปริมาณการขับถ่ายฟอสเฟตของปลากะพงขาวช่วงสูงสุดที่ 10 และ 12 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหาร (ตารางที่ 16) พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) มีปริมาณการขับถ่ายฟอสเฟตที่ 10 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหารสูงที่สุดคือมีค่า 0.393±0.03 มก.ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส/กก.ปลา/ชม. ซึ่งค่าดังกล่าวไม่มีแตกต่างทางสถิติ ($P\geq 0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 และปลาเป็ด ที่มีค่า 0.275±0.01 และ 0.284±0.10 มก.ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส/กก.ปลา/ชม. แต่มีค่าดังกล่าวแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 5 ซึ่งมีค่า 0.196±0.03, 0.215±0.09 และ 0.182±0.06 มก.ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส/กก.ปลา/ชม. ตามลำดับ โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 มีปริมาณการขับถ่ายฟอสเฟตที่ 10 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหาร

ต่ำที่สุดคือมีค่า 0.135±0.08 มก.ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส/กก.ปลา/ชม. ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P≥0.05) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 5

สำหรับชั่วโมงที่ 12 หลังปลาได้รับอาหาร พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) มีปริมาณการขับถ่ายฟอสเฟตสูงที่สุดคือมีค่า 0.473±0.06 มก.ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส/กก.ปลา/ชม. และมีค่าดังกล่าวไม่แตกต่างทางสถิติ (P≥0.05) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ซึ่งมีค่า 0.352±0.01 มก.ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส/กก.ปลา/ชม. แต่มีความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 6 และปลาเป็ด ซึ่งมีค่า 0.127±0.14, 0.253±0.13, 0.192±0.01, 0.224±0.05 และ0.143±0.08 มก.ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส/กก.ปลา/ชม. ตามลำดับ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 และ 6 มีค่าดังกล่าวไม่แตกต่างทางสถิติ (P≥0.05) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ซึ่งปริมาณการขับถ่ายฟอสเฟตที่ 10 และ 12 ชั่วโมงหลังปลาได้รับอาหารมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่แทนที่โปรตีนจากปลาป่นอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) (ที่ 10 ชั่วโมง ค่า r = -0.589, n = 18; ที่ 12 ชั่วโมง ค่า r = -0.78 2, n = 18) (ตารางที่ ข-28)

ตารางที่ 16 ปริมาณการขับถ่ายฟอสเฟต (มก.ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส /กก.ปลา/ชม.) ช่วงสูงสุดที่ 10 และ 12 ชั่วโมงหลังปลากะพงขาวได้รับอาหาร[1]

สูตรอาหาร	ระยะเวลาหลังปลาได้รับอาหาร (ชม.)	
	10	12
1(สูตรควบคุม)	0.393±0.03[a]	0.473±0.06[a]
2(10)[2]	0.275±0.01[ab]	0.352±0.01[ab]
3(20)	0.196±0.03[bc]	0.127±0.14[c]
4(30)	0.215±0.09[bc]	0.253±0.13[bc]
5(40)	0.182±0.06[bc]	0.192±0.01[c]
6(50)	0.135±0.08[c]	0.224±0.05[bc]
ปลาเป็ด	0.284±0.10[ab]	0.143±0.08[c]

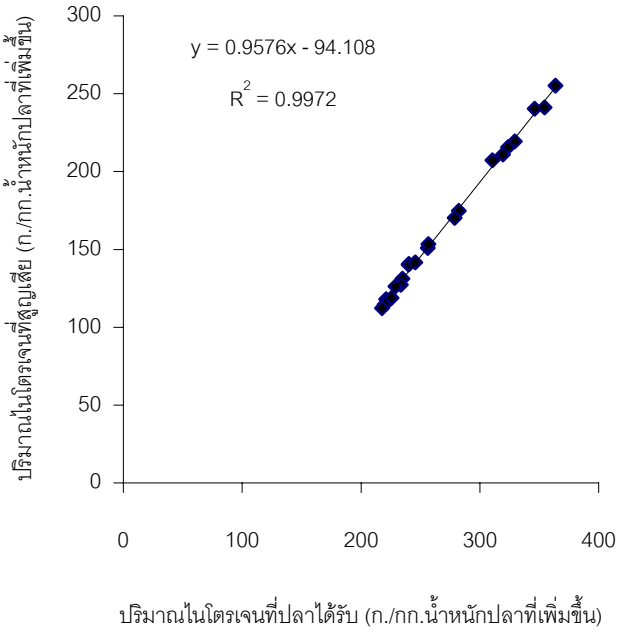
[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P≥ 0.05)

[2]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่แทนที่โปรตีนจากปลาป่น

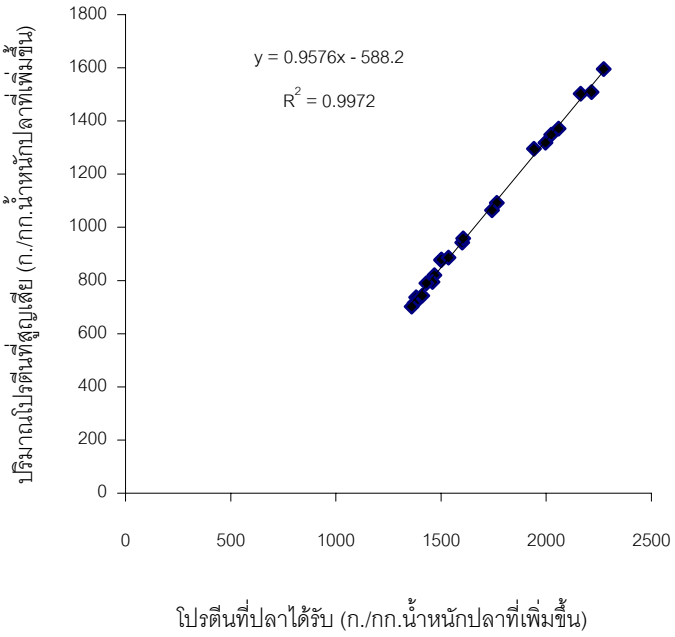
3.8.2 ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่สูญเสีย

ผลการศึกษาไนโตรเจนที่สูญเสียของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทั้ง 6 สูตรและปลาเป็ด (ตารางที่ 17) พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีค่าไนโตรเจนและโปรตีนที่สูญเสียต่ำที่สุด คือ 114.91±2.88 และ 718.18±17.98 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ และค่าไนโตรเจนและโปรตีนที่สูญเสียสูงขึ้น เมื่อระดับการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 125.69±6.30 ถึง 222.36±15.83 และ 785.56±39.37 ถึง 1389.73±98.91 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ และปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหาร มีค่าดังกล่าวสูงที่สุดคือ 238.62±18.07 และ 1491.39±112.94 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่สูญเสีย พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่สูญเสียต่ำที่สุด คือมีค่า 52.33±0.92 เปอร์เซ็นต์ และค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่สูญเสียสูงขึ้นเมื่อระดับการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 54.30±1.60 ถึง 67.38±1.81 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหาร มีค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่สูญเสียสูงที่สุด คือมีค่า 68.28±1.80 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่สูญเสียมีค่าเช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่สูญเสีย เนื่องจากค่าโปรตีนหาได้จากค่าไนโตรเจน x 6.25

และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณไนโตรเจนและโปรตีนที่ปลาได้รับกับปริมาณที่สูญเสีย (ภาพที่ 2 และ 3) พบว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน คือเมื่อปริมาณไนโตรเจนและโปรตีนที่ปลาได้รับเพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณไนโตรเจนและโปรตีนที่สูญเสียเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ของปริมาณไนโตรเจนที่ปลาได้รับกับปริมาณไนโตรเจนที่สูญเสียของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่โปรตีนจากปลาป่นที่ระดับ 0 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และปลาเป็ด

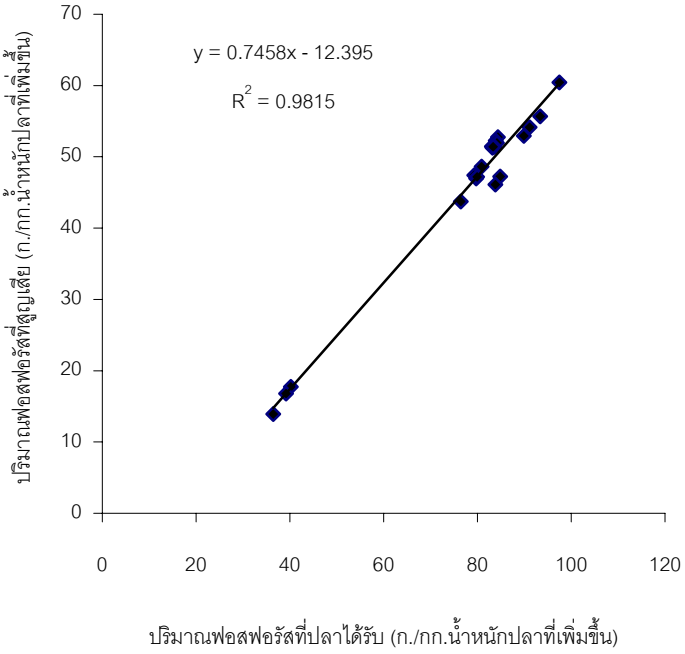


ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของปริมาณโปรตีนที่ปลาได้รับกับปริมาณโปรตีนที่สูญเสียของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่โปรตีนจากปลาป่นที่ระดับ 0 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และปลาเป็ด

สำหรับฟอสฟอรัสที่สูญเสีย (ตารางที่ 17) พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สูญเสียมีความสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลาได้รับ โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลาได้รับสูงกว่าสูตรอื่นๆ คือมีค่า 92.83±4.06 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สูญเสียสูงที่สุดมีค่า 55.86±4.02 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น โดยปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหาร มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลาได้รับน้อยที่สุดคือ 38.61±1.96 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สูญเสียต่ำที่สุดมีค่า 16.15±2.00 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 6

แต่เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสที่สูญเสีย (ตารางที่ 17) พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีค่าเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสที่สูญเสียสูงที่สุด คือมีค่า 62.26±0.30 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสที่สูญเสียมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 61.10±0.84 ถึง 56.78±2.49 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหารมีค่าดังกล่าวต่ำที่สุดคือ 41.72±3.14 เปอร์เซ็นต์

และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลาได้รับกับปริมาณฟอสฟอรัสที่สูญเสีย (ภาพที่ 4) พบว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน คือเมื่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลาได้รับเพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สูญเสียเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ของปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลาได้รับกับปริมาณฟอสฟอรัสที่สูญเสียของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่โปรตีนจากปลาป่นที่ระดับ 0 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และปลาเป็ด

3.9 **คุณภาพน้ำในตู้ทดลอง**

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลอง (ตารางที่ 18) พบว่าอุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 28.24±0.40 ถึง 28.48±0.06 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่าง 8.13±0.01 ถึง 8.15±0.01 ความเป็นด่าง 119.51±2.21 ถึง 121.67±1.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ 6.15±0.03 ถึง 6.29±0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 18 คุณภาพน้ำตลอดการทดลอง 12 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเป็นกรด-ด่าง	ความเป็นด่าง (มิลลิกรัม/ลิตร)	ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)
1(สูตรควบคุม)	28.44±0.03	8.13±0.01[b]	120.34±1.55	6.15±0.03
2(10)[2]	28.24±0.40	8.14±0.01[ab]	121.00±2.06	6.19±0.02
3(20)	28.48±0.06	8.14±0.00[ab]	120.46±0.50	6.18±0.10
4(30)	28.48±0.05	8.13±0.01[b]	119.51±2.21	6.16±0.13
5(40)	28.46±0.02	8.14±0.01[ab]	121.33±2.94	6.26±0.07
6(50)	28.47±0.01	8.15±0.01[a]	121.46±1.24	6.26±0.03
ปลาเป็ด	28.44±0.04	8.15±0.01[a]	121.67±1.42	6.29±0.08

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P≥ 0.05) สำหรับอุณหภูมิ ความเป็นด่าง และออกซิเจนที่ละลายน้ำในตู้ทดลองของระหว่างชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P≥ 0.05)

[2]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่แทนที่โปรตีนจากปลาป่น

3.10 ราคาอาหารและต้นทุนค่าอาหาร

จากการคำนวณราคาอาหารเฉพาะต้นทุนค่าวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำที่นำมาเป็นส่วนประกอบในอาหาร 6 สูตร และปลาเป็ด พบว่าสูตรอาหารที่มีระดับถั่วเหลืองสกัดน้ำมันเพิ่มขึ้นจะทำให้อาหารมีราคาต่ำลง และปลาเป็ดมีราคาต่ำที่สุด ดังตารางที่ 19 และจากการวิเคราะห์ต้นทุนค่าอาหารสูตรต่าง ๆ ต่อการผลิตปลา 1 กิโลกรัม พบว่ามีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($P<0.05$) (ตารางที่ 19) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 มีต้นทุนค่าอาหารในการผลิตปลาต่อหน่วยต่ำที่สุด 32.90$\pm$1.26 บาท/กก.ปลา ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P\geq0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1, 2 และ 4 ที่มีราคา 33.98$\pm$0.11, 34.20$\pm$0.54 และ 34.50$\pm$0.54 บาท/กก.ปลา ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ปลาที่ได้รับปลาเป็ดเป็นอาหารและปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 มีต้นทุนค่าอาหาร 35.96$\pm$2.14 และ 36.70$\pm$2.20 บาทต่อผลผลิตปลา 1 กิโลกรัม ตามลำดับ ขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 มีต้นทุนค่าอาหารสูงที่สุด 40.00$\pm$2.45 บาทต่อผลผลิตปลา 1 กิโลกรัม

ตารางที่ 19 ราคาอาหารและต้นทุนค่าอาหารต่อหน่วยการผลิตปลากะพงขาวขนาด 0.95 ถึง 34.51 กรัมต่อตัว ที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่ระดับต่างๆ และปลาเป็ด เป็นเวลา 12 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	ราคาอาหาร (บาทต่อกิโลกรัมอาหาร)	ต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลา (บาทต่อกิโลกรัมปลา)[2]
1(สูตรควบคุม)	32.81	33.98$\pm$0.11^{bc}
2(10)[3]	32.18	34.20$\pm$0.54^{bc}
3(20)	31.67	32.90$\pm$1.26^{c}
4(30)	31.04	34.50$\pm$0.54^{bc}
5(40)	30.32	36.70$\pm$2.20^{b}
6(50)	29.90	40.00$\pm$2.45^{a}
ปลาเป็ด	12.40	35.96$\pm$2.14^{b}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P\geq 0.05$)

[2]ต้นทุนค่าอาหารต่อหน่วย = อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ x ราคาอาหาร (บาท)

[3]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่แทนที่โปรตีนจากปลาป่น