บทที่ 3

ผลการทดลอง

3.1 การทดลองตอนที่ 1: ผลของเอนไซม์ไฟเตสและฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟตระดับต่างๆ ต่อปลาดุกพันธุ์ผสม

3.1.1 ความผิดปกติและพฤติกรรมของปลาดุกพันธุ์ผสมที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ

จากการศึกษาครั้งนี้ไม่พบความผิดปกติของรูปร่างลักษณะภายนอกของปลาดุกพันธุ์ผสมที่ได้รับอาหารจากแหล่งวัตถุดิบพืชทั้งในกลุ่มที่มีการเสริมด้วยเอนไซม์ไฟเตส และกลุ่มที่มีการเสริมด้วยไดแคลเซียมฟอสเฟตเมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารชุดควบคุม (สูตรที่ 1) ตลอดจนสิ้นสุดการทดลอง

3.1.2 การเจริญเติบโตและอัตรารอดตาย

3.1.2.1 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว

เมื่อเริ่มต้นการทดลองน้ำหนักเฉลี่ยของปลาต่อตัวอยู่ในช่วง 5.57 $\pm$ 0.03 – 5.72 $\pm$ 0.08 กรัม น้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เลี้ยงตลอด 10 สัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 8 โดยพบว่า ปลาในชุดควบคุมเริ่มมีน้ำหนักเฉลี่ยแตกต่างจากสูตรอื่นๆ ทุกสูตร ($p<0.05$) ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง และเมื่อพิจารณาปลาในกลุ่มได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตส (ชุดการทดลองที่ 2-6) พบว่า เริ่มมีความแตกต่างกันตั้งแต่สัปดาห์ที่ 6 เป็นต้นไป โดยพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 500 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีน้ำหนักเฉลี่ยสูงที่สุด และแตกต่างกับชุดการทดลองที่เสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 0 และ 250 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากชุดการทดลองที่เสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 และ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาการเสริมฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 7-9 พบว่า น้ำหนักเฉลี่ยของปลาในชุดดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 8) โดยปลาที่ได้รับฟอสฟอรัส 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเฉลี่ยต่ำกว่าและแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 500 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม แต่ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 750 และ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ($p>0.05$) ขณะที่ปลาที่ได้รับ

ไดแคลเซียมฟอสเฟต 0.2 และ 0.3 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน และไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสทุกระดับ ($p>0.05$)

ตารางที่ 8 การเจริญเติบโตของปลาดุกพันธุ์ผสมที่ได้รับอาหารที่มีเอนไซม์ไฟเตสและฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟตในระดับต่างๆ (กรัม)[1]

สูตรอาหาร	เอนไซม์ไฟเตส	ระยะเวลา (สัปดาห์ที่)					
	(ยูนิต/อาหาร 1 กก)	0	2	4	6	8	10
1	Control	5.72 ± 0.08^{a}	8.6 8± 0.26^{b}	13.83 ± 0.61^{b}	21.76 ± 0.60^{d}	28.21 ± 1.05^{d}	32.82 ± 3.60^{d}
2	0	5.57 ± 0.03^{a}	6.48 ± 0.05^{a}	7.30 ± 0.07^{a}	8.58 ± 0.12^{ab}	9.90 ± 0.31^{ab}	11.45 ± 0.13^{ab}
3	250	5.66 ± 0.05^{a}	6.50 ± 0.17^{a}	7.37 ± 0.14^{a}	8.26 ± 0.44^{a}	9.26 ± 0.50^{a}	10.91 ± 0.65^{a}
4	500	5.70 ± 0.09^{a}	6.70 ± 0.18^{a}	7.56 ± 0.67^{a}	9.44 ± 0.27^{c}	11.26 ± 0.43^{c}	14.02 ± 0.12^{c}
5	750	5.59 ± 0.04^{a}	6.52 ± 0.12^{a}	7.36 ± 0.30^{a}	9.14 ± 0.25^{bc}	10.83 ± 0.04^{bc}	12.42 ± 0.29^{abc}
6	1,000	5.66 ± 0.07^{a}	6.65 ± 0.27^{a}	7.72 ± 0.32^{a}	9.14 ± 0.37^{bc}	10.71 ± 0.61^{bc}	13.45 ± 0.31^{bc}
7	0.1% DCP	5.69 ± 0.06^{a}	6.55 ± 0.12^{a}	7.27 ± 0.16^{a}	8.55 ± 0.27^{ab}	9.81 ± 0.61^{ab}	11.50 ± 0.53^{ab}
8	0.2% DCP	5.60 ± 0.04^{a}	6.73 ± 0.31^{a}	7.64 ± 0.07^{a}	8.83 ± 0.04^{abc}	10.19 ± 0.39^{abc}	11.98 ± 0.79^{abc}
9	0.3% DCP	5.58 ± 0.08^{a}	6.55 ± 0.18^{a}	8.10 ± 1.13^{a}	9.09 ± 0.57^{bc}	10.30 ± 1.00^{abc}	12.84 ± 0.29^{abc}

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

3.1.2.2 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร และอัตราการรอดตาย

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลาดุกพันธุ์ผสมที่ได้รับอาหารทั้ง 9 สูตร เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 9 พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาดุกพันธุ์ผสมทั้ง 9 ชุดการทดลอง เป็นไปในแนวทางเดียวกับน้ำหนักเฉลี่ยของปลา กล่าวคือ ปลาที่ได้รับอาหารสูตร 1 (มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน) มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุด และแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์และไดแคลเซียมฟอสเฟต พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 500 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด และแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารไม่เสริมเอนไซม์ (สูตรที่ 2) ($p<0.05$) ขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟตทั้ง 3 ระดับ คือ 0.1, 0.2 และ 0.3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่ปลาที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัส 0.3 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างกับสูตรที่ 2 (ตารางที่ 9)

สำหรับอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ซึ่งมีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุด ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์ไฟเตส พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 500 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสสูตรอื่นๆ ($p<0.05$) ยกเว้นชุดการทดลองที่เสริมเอนไซม์ไฟเตส 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และปลาที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.3 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าที่ระดับ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับปลากลุ่มที่ได้รับฟอสฟอรัส 0.2 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$) (ตารางที่ 9)

อัตราการกินอาหารของปลาทดลองทั้ง 9 สูตร มีค่าอยู่ในช่วง 2.20 ± 0.17 – 2.83 ± 0.27 เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน โดยปลาที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสหรือฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟตในระดับต่างๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างกับชุดการทดลองที่ 2 (ไม่เสริมเอนไซม์ไฟเตส) ($p>0.05$) แต่มีความแตกต่างกับปลาในชุดการทดลองที่ 1 ($p<0.05$) โดยปลาในชุดการทดลองที่ 1 มีอัตราการกินอาหารสูงที่สุด

อัตราการรอดตายของปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 88.33 ± 16.07 – 98.33 ± 2.89 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 9 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร และอัตราการรอดตายของปลาดุกพันธุ์ผสม ที่ได้รับอาหารที่มีเอนไซม์ไฟเตส และฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟตระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	เอนไซม์ไฟเตส (ยูนิต/อาหาร 1 กก)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (% ต่อวัน)	อัตราการกินอาหาร (% ต่อตัวต่อวัน)	อัตราการรอดตาย (%)
1	Control	474.90 ± 71.66^{c}	2.46 ± 0.17^{d}	2.83 ± 0.27^{c}	88.33 ± 16.07^{a}
2	0	105.51 ± 3.23^{a}	1.01 ± 0.02^{a}	2.38 ± 0.11^{ab}	96.67 ± 2.89^{a}
3	250	92.77 ± 11.24^{a}	0.92 ± 0.08^{a}	2.20 ± 0.17^{a}	91.67 ± 2.89^{a}
4	500	146.12 ± 4.54^{b}	1.27 ± 0.03^{c}	2.38 ± 0.24^{ab}	96.67 ± 5.77^{a}
5	750	112.38 ± 15.95^{ab}	1.06 ± 0.11^{ab}	2.53 ± 0.03^{b}	95.00 ± 5.00^{a}
6	1,000	137.48 ± 2.80^{ab}	1.22 ± 0.02^{bc}	2.43 ± 0.06^{ab}	93.33 ± 7.64^{a}
7	0.1% DCP	101.96 ± 8.08^{ab}	0.99 ± 0.06^{a}	2.25 ± 0.02^{ab}	96.97 ± 5.77^{a}
8	0.2% DCP	113.91 ± 17.22^{ab}	1.07 ± 0.11^{ab}	2.30 ± 0.02^{ab}	98.33 ± 2.89^{a}
9	0.3% DCP	130.16 ± 4.21^{ab}	1.17 ± 0.03^{bc}	2.23 ± 0.28^{ab}	98.33 ± 2.89^{a}

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

3.1.3 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิของปลาดุกพันธุ์ผสมที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร แสดงในตารางที่ 10 พบว่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีค่าอยู่ในช่วง 1.36$\pm$0.08 – 2.47$\pm$0.16 และมีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($p<0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารในชุดการทดลองที่ 1 มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุด รองลงมา คือ ปลาที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 500 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม (สูตรที่ 4) และฟอสฟอรัสจากไดแคลเซียมฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 9) โดยพบว่า มีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารไม่เสริมเอนไซม์ไฟเตส (สูตรที่ 2) ($p<0.05$) และมีแนวโน้มดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารเอนไซม์ไฟเตส 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม (สูตรที่ 6) และปลาที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัส 0.1 และ 0.2 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 7 และ 8 ตามลำดับ) ($p>0.05$) (ตารางที่ 10)

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาดุกพันธุ์ผสมที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($p<0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.47$\pm$0.03 – 2.50$\pm$0.14 ผลการทดลองพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมมีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงสุด รองลงมาได้แก่ กลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตส 500 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม โดยมีความแตกต่างทางสถิติกับชุดการทดลองที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตส (สูตรที่ 2) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และปลาที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนดีกว่าชุดการทดลองที่เสริมฟอสฟอรัสที่ระดับ 0.1 และ 0.2 เปอร์เซ็นต์ และชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งไม่เสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหาร ($p<0.05$) (ตารางที่ 10)

การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ พบว่ามีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($p<0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 24.84$\pm$1.22 – 36.56$\pm$2.08 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่มีการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิสูงที่สุด คือ ปลาในชุดการทดลองที่ 1 และเมื่อพิจารณาในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์ไฟเตส พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตส 250 และ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารไม่เสริมเอนไซม์ไฟเตส (สูตรที่ 2) ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ มีการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2, 7 และ 8 ($p<0.05$) (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิของปลาดุกพันธุ์ผสมที่ได้รับอาหารที่มีเอนไซม์ไฟเตสและฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟตระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	เอนไซม์ไฟเตส (ยูนิต/อาหาร 1 กก)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน	การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (%)
1	Control	1.36 ± 0.08^{a}	2.50 ± 0.14^{d}	36.56 ± 2.08^{c}
2	0	2.22 ± 0.04^{cd}	1.53 ± 0.08^{ab}	24.84 ± 1.22^{a}
3	250	2.47 ± 0.16^{d}	1.47 ± 0.03^{a}	29.76 ± 0.83^{b}
4	500	1.79 ± 0.04^{b}	1.88 ± 0.13^{c}	28.13 ± 1.91^{ab}
5	750	2.22 ± 0.17^{cd}	1.48 ± 0.12^{a}	27.61 ± 1.72^{ab}
6	1,000	2.01 ± 0.25^{bc}	1.74 ± 0.10^{bc}	30.68 ± 1.76^{b}
7	0.1% DCP	1.96 ± 0.02^{bc}	1.52 ± 0.13^{ab}	28.43 ± 2.23^{ab}
8	0.2% DCP	2.00 ± 0.23^{bc}	1.62 ± 0.17^{ab}	28.66 ± 2.50^{ab}
9	0.3% DCP	1.97 ± 0.20^{b}	1.88 ± 0.23^{c}	34.31 ± 4.33^{c}

[1] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

3.1.4 ส่วนประกอบทางโภชนาการของปลาทั้งตัว

องค์ประกอบทางเคมีของปลาเมื่อเริ่มต้นทดลอง และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสดงไว้ดังตารางที่ 11 พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 9 สูตร มีค่าความชื้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงไว้ดังตารางที่ 11

โปรตีนในตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 55.88 ± 0.24 – 69.41 ± 0.11 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่ได้รับอาหารเสริมด้วยเอนไซม์ไฟเตสและฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมมีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารไม่เสริมเอนไซม์ไฟเตส (สูตรที่ 2) (ตารางที่ 11) ($p<0.05$)

ไขมันในร่างกายปลาพบว่าระหว่างชุดการทดลองทั้ง 9 สูตรมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยไขมันเฉลี่ยในร่างกายปลาอยู่ในช่วง 22.65 ± 0.14 – 26.58 ± 0.26 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีการเสริมด้วยเอนไซม์ไฟเตส (สูตรที่ 3-6) มีค่าไขมันในร่างกายสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารไม่เสริมเอนไซม์ ไฟเตส (สูตรที่ 2) และปลาที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสที่ระดับ 0.1, 0.2 และ 0.3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าไขมันเฉลี่ยในร่างกายสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ($p<0.05$) (ตารางที่ 11)

สำหรับเถ้าในร่างกายปลา พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม และปลาที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟตทุกระดับ (สูตรที่ 7, 8 และ 9) มีเปอร์เซ็นต์เถ้าในร่างกายสูงที่สุด ($p<0.05$) (ตารางที่ 11)

ปลาที่ได้รับอาหารชุดควบคุมมีค่าฟอสฟอรัสในร่างกายสูงที่สุด ($p<0.05$) ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตส 500 และ 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม (สูตรที่ 4 และ 5 ตามลำดับ) และปลาที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟต 0.1 และ 0.2 เปอร์เซ็นต์ มีค่าฟอสฟอรัสในร่างกายปลามากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ไม่เสริมเอนไซม์ไฟเตส ($p<0.05$)

แคลเซียมในร่างกายปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 9 สูตร มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($p<0.05$) โดยชุดการทดลองที่ได้รับอาหารเสริมไฟเตส 750 และ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม (สูตรที่ 5 และ 6 ตามลำดับ) และชุดการทดลองที่เสริมฟอสฟอรัส 0.1, 0.2 และ 0.3 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) (สูตรที่ 7-9) มีแคลเซียมสะสมในร่างกายมากกว่าชุดการทดลองที่ไม่เสริมเอนไซม์ไฟเตส (สูตรที่ 2)

ตารางที่ 11 ส่วนประกอบทางโภชนาการของซากปลาดุกพันธุ์ผสมที่ได้รับอาหารที่มีเอนไซม์ไฟเตสและฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟตระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	เอนไซม์ไฟเตส (ยูนิต/อาหาร 1 กก)	ส่วนประกอบ (%)					
		ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ฟอสฟอรัส	แคลเซียม
I[0]		76.02 ± 1.52	57.66 ± 0.19	23.38 ± 0.23	11.65 ± 0.02	1.90 ± 0.23	2.43 ±0.07
1	Control	74.12 ± 1.21^{e}	55.88 ± 0.24^{a}	24.16 ± 0.18^{a}	12.61 ± 0.02^{c}	2.01 ± 0.30^{c}	2.36 ± 0.21^{b}
2	0	75.40 ± 0.65^{e}	61.22 ± 0.38^{a}	22.65 ± 0.14^{a}	8.98 ± 0.18^{a}	1.56 ± 0.07^{b}	2.01 ± 0.07^{a}
3	250	75.63 ± 1.14^{c}	59.59 ± 0.27^{a}	24.27 ± 0.36^{bc}	9.99 ± 0.03^{a}	1.55 ± 0.22^{b}	2.09 ± 0.15^{ab}
4	500	75.63 ± 1.48^{b}	69.41 ± 0.11^{f}	24.36 ± 0.24^{bc}	9.44 ± 0.34^{a}	1.69 ± 0.02^{bc}	1.99 ± 0.18^{a}
5	750	74.60 ± 0.91^{a}	64.50 ± 0.07^{de}	24.92 ± 0.08^{c}	10.36 ± 0.12^{b}	1.80 ± 0.06^{c}	2.39 ± 0.08^{bc}
6	1,000	74.71 ± 1.42^{d}	63.43 ± 0.39^{b}	23.42 ± 0.37^{a}	10.42 ± 0.48^{b}	0.97 ± 0.09^{a}	2.52 ± 0.16^{c}
7	0.1% DCP	74.61 ± 0.18^{d}	64.16 ± 0.25^{cd}	26.58 ± 0.26^{d}	10.42 ± 0.06^{b}	1.82 ± 0.03^{c}	2.32 ± 0.10^{bc}
8	0.2% DCP	75.45 ± 0.53^{b}	64.65 ± 0.22^{e}	23.97 ± 0.25^{b}	11.07 ± 0.02^{c}	1.80 ± 0.17^{c}	2.53 ± 0.28^{c}
9	0.3% DCP	74.46 ± 0.51^{d}	63.82 ± 0.12^{bc}	24.16 ± 0.18^{b}	11.29 ± 0.19^{c}	0.90 ± 0.04^{a}	2.50 ± 0.20^{c}

[0] I ส่วนประกอบทางโภชนาการของซากปลาดุกพันธุ์ผสมเมื่อเริ่มต้นทดลอง

[1] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

3.1.5 องค์ประกอบเลือด และดัชนีตับต่อตัว

การวิเคราะห์องค์ประกอบเลือด ได้แก่ ค่าฮีมาโตคริต ฮีโมโกลบิน และโปรตีนในพลาสมาของปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 9 สูตร แสดงในตารางที่ 12 พบว่าค่าฮีมาโตคริตของปลาทดลองทั้ง 9 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 27.08 ± 3.13 – 32.64 ± 2.30 เปอร์เซ็นต์

ค่าฮีโมโกลบินของปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 9 สูตร มีค่าอยู่ในช่วง 3.31 ± 0.83 – 4.96 ± 0.53 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับอาหารชุดควบคุมมีค่าฮีโมโกลบินแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสและปลาที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสจากไดแคลเซียมฟอสเฟตไม่มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($p>0.05$) (ตารางที่ 11)

โปรตีนในพลาสมา มีค่าอยู่ในช่วง 23.37 ± 1.60 – 31.73 ± 5.78 เปอร์เซ็นต์ โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) แต่เมื่อพิจารณาในกลุ่มเดียวกัน คือกลุ่มที่เสริมด้วยเอนไซม์ไฟเตสหรือกลุ่มที่เสริมด้วยฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($p>0.05$) (ตารางที่ 11)

สำหรับผลการวิเคราะห์ดัชนีตับต่อตัวของปลาดุกพันธุ์ผสมที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยเอนไซม์ ไฟเตสและฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.73 ± 0.14 – 1.00 ± 0.02 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 12 องค์ประกอบเลือดและดัชนีตับต่อตัวของปลาดุกพันธุ์ผสมที่ได้รับอาหารที่มีเอนไซม์ไฟเตสและฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟตระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	เอนไซม์ไฟเตส (ยูนิต/อาหาร 1 กก)	ฮีมาโตคริต (%)	ฮีโมโกลบิน (g/dl)	โปรตีนในพลาสมา (mg%)	ดัชนีตับต่อตัว (%)
1	Control	32.64 ± 2.30	4.96 ± 0.53 ^{c}	28.33 ± 1.50 ^{abc}	1.00 ± 0.02
2	0	29.11 ± 1.39	3.76 ± 0.08 ^{ab}	29.22 ± 4.04 ^{bc}	0.92 ± 0.07
3	250	27.08 ± 3.13	3.89 ± 0.44 ^{ab}	31.73 ± 5.78 ^{c}	0.85 ± 0.12
4	500	28.83 ± 1.89	4.32 ± 0.76 ^{abc}	26.82 ± 1.71 ^{abc}	0.97 ± 0.13
5	750	28.97 ± 2.76	4.75 ± 0.36 ^{bc}	26.39 ± 2.00 ^{ab}	0.81 ± 0.15
6	1,000	29.31 ± 2.71	3.80 ± 0.54 ^{ab}	28.57 ± 1.52 ^{abc}	0.86 ± 0.02
7	0.1% DCP	29.56 ± 0.29	3.31 ± 0.83 ^{a}	23.37 ± 1.60 ^{a}	0.81 ± 0.14
8	0.2% DCP	28.15 ± 2.66	3.84 ± 0.63 ^{ab}	27.34 ± 0.85 ^{abc}	0.77 ± 0.14
9	0.3% DCP	29.02 ± 1.34	3.87 ± 0.11 ^{ab}	23.95 ± 1.58 ^{ab}	0.73 ± 0.14

[1]ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

3.1.6 ฟอสฟอรัสและแคลเซียมในซีรัม

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส และแคลเซียมในซีรัมของเลือดปลา พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสของปลาที่ได้รับอาหารไม่เสริมเอนไซม์ไฟเตสมีค่าต่ำที่สุด คือ 3.1 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และแตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 4.3-7.6 แต่ไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ (ตารางที่ 13) ในขณะที่ปริมาณแคลเซียมไม่แตกต่างกันในระหว่างชุดการทดลอง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 10.2-13.0 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 ผลวิเคราะห์ฟอสฟอรัสและแคลเซียมในซีรัมของปลาดุกพันธุ์ผสมที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยเอนไซม์ไฟเตสและฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟตในระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	เอนไซม์ไฟเตส (ยูนิต/อาหาร 1 กก)	ฟอสฟอรัสในซีรัม (mg%)	แคลเซียมในซีรัม (mg%)
1	Control	8.3	12.8
2	0	3.1	11.7
3	250	6.7	12.7
4	500	4.3	12.5
5	750	7.6	13.0
6	1,000	5.7	12.3
7	0.1% DCP	5.0	10.5
8	0.2% DCP	4.6	10.2
9	0.3% DCP	5.2	12.7

[1]เป็นข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ 1 ซ้ำ

3.1.7 ฟอสฟอรัสและแคลเซียมในกระดูก

ฟอสฟอรัสในกระดูกของปลาดุกที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร ตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์ พบว่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.77 $\pm$ 0.63 - 3.70 $\pm$ 0.32 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน (สูตรที่ 1) มีการสะสมฟอสฟอรัสในกระดูกสูงที่สุด และแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ ($p<0.05$) ยกเว้นปลาที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตส 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ปลาที่มีการสะสมฟอสฟอรัสต่ำสุด คือ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ไม่เสริมเอนไซม์ไฟเตส (ตารางที่ 14)

แคลเซียมในกระดูก มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.28 $\pm$ 0.20 – 13.12 $\pm$ 0.22 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 14 พบว่า การสะสมแคลเซียมในกระดูกของปลาดุกพันธุ์ผสมที่ได้รับอาหารแตกต่างกัน ตลอด 10 สัปดาห์ มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($p<0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสจากไดแคลเซียมฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ มีการสะสมแคลเซียมในกระดูกสูงที่สุด รองลงมาคือปลาที่รับอาหารเสริมด้วยเอนไซม์ไฟเตส 750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

ตารางที่ 14 ฟอสฟอรัส และแคลเซียมในกระดูกของปลาดุกพันธุ์ผสมที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยเอนไซม์ไฟเตสและฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟตในระดับต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	เอนไซม์ไฟเตส (ยูนิต/อาหาร 1 กก)	ฟอสฟอรัสในกระดูก (%)	แคลเซียมในกระดูก (%)
1	Control	3.70 ± 0.32^{c}	6.28 ± 0.20^{a}
2	0	2.77 ± 0.63^{a}	7.90 ± 0.97^{b}
3	250	2.85 ± 0.28^{a}	8.16 ± 1.09^{b}
4	500	3.01 ± 0.14^{ab}	8.94 ± 0.65^{b}
5	750	3.10 ± 0.06^{ab}	10.71 ± 0.19^{c}
6	1,000	3.55 ± 0.04^{bc}	8.56 ± 0.59^{b}
7	0.1% DCP	2.87 ± 0.39^{a}	7.88 ± 0.57^{b}
8	0.2% DCP	2.92 ± 0.33^{a}	9.09 ± 0.70^{b}
9	0.3% DCP	3.02 ± 0.09^{ab}	13.12 ± 0.22^{d}

[1] ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

3.1.8 การศึกษาเนื้อเยื่อวิทยาของตับและไตปลาดุกพันธุ์ผสม

จากผลการศึกษาเนื้อเยื่อตับและไตของปลาดุกพันธุ์ผสม พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร ตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์มีโครงสร้างทางเนื้อเยื่อของตับและไตปกติ

3.1.9 คุณภาพน้ำ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเฉลี่ยก่อนเริ่มการทดลอง ระหว่างการทดลอง และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสดงในตารางผนวก ข ที่ 1-6 โดยพบว่า อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรดด่าง ความเป็นด่าง ความกระด้าง ปริมาณแอมโมเนีย ปริมาณฟอสฟอรัส ไนไตรท์ และไนเตรทอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตของปลา

3.2 การทดลองตอนที่ 2: ผลของเอนไซม์ไฟเตสต่อการเพิ่มการใช้ฟอสฟอรัสจากวัตถุดิบพืชในปลานิลแดงแปลงเพศ

3.2.1 ความผิดปกติและพฤติกรรมของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ

จากการสังเกตความผิดปกติและพฤติกรรมของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช และผลของเอนไซม์ไฟเตส ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์ พบว่าปลาไม่มีความผิดปกติของรูปร่างลักษณะภายนอก ปลามีสุขภาพแข็งแรง ยอมรับอาหารทดลองดีทุกสูตร และมีพฤติกรรมปกติตลอดการทดลอง

3.2.2 การเจริญเติบโตและอัตรารอด

3.2.2.1 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว

เมื่อเริ่มต้นทดลองน้ำหนักเฉลี่ยของปลาแต่ละตู้ไม่มีความแตกต่างกันโดยน้ำหนักเฉลี่ย ของปลาต่อตัวอยู่ในช่วง 4.85 $\pm$ 0.08 – 4.90 $\pm$ 0.06 กรัม น้ำหนักของปลาเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เลี้ยง โดยพบว่า ตลอดเวลาทดลอง 10 สัปดาห์ ค่าน้ำหนักเฉลี่ยของปลานิลแดงแปลงเพศไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน ระหว่าง สัดส่วนของโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช และการเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารทดลอง แต่ปัจจัยแต่ละตัวส่งผลต่อน้ำหนักเฉลี่ยของปลา โดยสัดส่วนของโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืชในอาหารเริ่มส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลาตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง โดยพบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1, 2 (AP:PP เท่ากับ 1:1) สูตรที่ 3, 4 (AP:PP เท่ากับ 1:2) และสูตรที่ 5,6 (AP:PP เท่ากับ 1:3) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 7, 8 (AP:PP เท่ากับ 1:4) และสูตรที่ 9, 10 (AP:PP เท่ากับ 1:5) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ตารางที่ 15) ส่วนผลของการเสริมเอนไซม์ไฟเตสเริ่มมีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง ($p<0.05$) ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง โดยพบว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีการเจริญเติบโตสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารไม่เสริมเอนไซม์ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 ตลอดจนสิ้นสุดการทดลอง (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 การเจริญเติบโตของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช และเอนไซม์ไฟเตสในระดับแตกต่างกันเป็นเวลา 10 สัปดาห์[1] (หน่วยเป็นกรัม)

สูตรอาหาร	โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช	เอนไซม์ไฟเตส (ยูนิตต่ออาหาร 1 กก)	ระยะเวลา (สัปดาห์ที่)					
			0	2	4	6	8	10
1	1:1	0	4.85±0.08	13.78±0.03^{bc}	26.70±1.23^{bc}	43.91±1.40^{c}	64.38±0.87^{c}	91.48±7.26^{c}
2	1:1	1,000	4.88±0.07	13.79±0.24^{bc}	27.04±0.64^{bc}	44.91±0.82^{c}	65.56±2.41^{c}	93.80±5.36^{c}
3	1:2	0	4.89±0.07	14.03±0.87^{c}	28.06±0.93^{d}	46.26±2.47^{d}	67.31±4.24^{d}	93.03±4.92^{c}
4	1:2	1,000	4.90±0.06	14.71±0.33^{c}	29.79±1.28^{d}	48.67±1.56^{d}	72.16±1.12^{d}	99.41±6.19^{c}
5	1:3	0	4.86±0.09	14.13±0.14^{c}	27.67±0.42^{cd}	45.44±1.12^{cd}	68.39±4.35^{d}	91.75±7.54^{c}
6	1:3	1,000	4.89±0.09	14.15±0.03^{c}	28.42±0.69^{cd}	47.12±1.01^{cd}	70.57±2.07^{d}	96.27±3.64^{c}
7	1:4	0	4.86±0.06	13.21±0.08^{b}	25.13±1.07^{b}	39.86±2.19^{b}	55.61±5.64^{b}	75.82±8.22^{b}
8	1:4	1,000	4.88±0.06	13.71±0.95^{b}	26.38±1.38^{b}	42.16±1.20^{b}	59.97±1.47^{b}	84.30±3.98^{b}
9	1:5	0	4.87±0.05	12.65±0.24^{a}	22.97±1.19^{a}	35.12±3.38^{a}	48.09±2.92^{a}	65.76±4.51^{a}
10	1:5	1,000	4.88±0.05	12.75±0.73^{a}	24.03±1.63^{a}	37.06±2.71^{a}	53.04±4.93^{a}	71.31±6.49^{a}
โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช			NS	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
เอนไซม์ไฟเตส			NS	NS	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
โปรตีนสัตว์ ต่อโปรตีนพืช × เอนไซม์ไฟเตส			NS	NS	NS	NS	NS	NS

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

3.2.2.2 **น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร และอัตราการรอดตาย**

ค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร และอัตราการรอดตายของปลานิลแดงแปลงเพศแสดงไว้ในตารางที่ 16 โดยพบว่าค่าดังกล่าวของปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของโปรตีนสัตว์และโปรตีนพืชต่างกัน และการเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารไม่มีปฏิสัมพันธ์กันโดยมีรายละเอียดดังนี้

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 10 สูตร มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($p<0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1,250.61 $\pm$ 99.00 – 1,928.12 $\pm$ 108.69 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของโปรตีนสัตว์และโปรตีนพืช 1:1, 1:2 และ 1:3 มีน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุด รองลงมาคือ ปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของโปรตีนสัตว์และโปรตีนพืช 1:4 และ 1:5 ตามลำดับ และการเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีผลทำให้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลานิลแดงแปลงเพศสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารไม่เสริมเอนไซม์อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ตารางที่ 16)

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทั้ง 10 สูตร มีค่าอยู่ในช่วง 3.66 $\pm$ 0.11 – 4.24 $\pm$ 0.08 เปอร์เซ็นต์ ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาทดลองมีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($p<0.05$) โดยให้ผลการทดลองในแนวทางเดียวกับค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือ ปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของโปรตีนสัตว์และโปรตีนพืช 1:1, 1:2 และ 1:3 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะดีที่สุด และไม่แตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($p>0.05$) รองลงมาคือ ปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของโปรตีนสัตว์และโปรตีนพืช 1:4 และ 1:5 ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง ($p<0.05$) และพบว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารทำให้ปลานิลแดงแปลงเพศมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะดีกว่าไม่เสริม ($p<0.05$) (ตารางที่ 16)

อัตราการกินอาหารของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทั้ง 10 สูตร มีค่าอยู่ในช่วง 3.16 $\pm$ 0.07 – 3.45 $\pm$ 0.14 เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของโปรตีนสัตว์และโปรตีนพืช 1:1, 1:4 และ 1:5 มีอัตราการกินอาหารสูงที่สุด รองลงมาคือ ปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของโปรตีนสัตว์และโปรตีนพืช 1:3 และ 1:2 ตามลำดับ และปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสจะมีอัตราการกินอาหารต่ำกว่าปลาที่ได้อาหารไม่เสริมเอนไซม์ ($p<0.05$) (ตารางที่ 16)

อัตราการรอดตายของปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 10 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 96.67 ± 2.89 - 100 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 16 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร และอัตราการรอดตายของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช และเอนไซม์ไฟเตสในระดับที่แตกต่างกัน เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช	เอนไซม์ไฟเตส (ยูนิตต่ออาหาร 1 กก)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (% ต่อวัน)	อัตราการกินอาหาร (% ต่อตัวต่อวัน)	อัตราการรอดตาย (%)
1	1:1	0	1,785.66±133.57 ^{c}	4.13±0.10 ^{c}	3.45±0.15 ^{b}	100.00+0.00
2	1:1	1,000	1,824.61±136.88 ^{c}	4.16±0.10 ^{c}	3.23±0.16 ^{b}	100.00+0.00
3	1:2	0	1,803.38± 82.43 ^{c}	4.15±0.06 ^{c}	3.16±0.07 ^{a}	100.00+0.00
4	1:2	1,000	1,928.12±108.69 ^{c}	4.24±0.08 ^{c}	3.18±0.14 ^{a}	96.67+2.89
5	1:3	0	1,786.47±147.00 ^{c}	4.13±0.11 ^{c}	3.29±0.12 ^{ab}	100.00+0.00
6	1:3	1,000	1,870.51± 82.05 ^{c}	4.20±0.06 ^{c}	3.18±0.06 ^{ab}	100.00+0.00
7	1:4	0	1,458.23±156.77 ^{b}	3.86±0.14 ^{b}	3.45±0.14 ^{b}	98.33+2.89
8	1:4	1,000	1,629.24± 98.60 ^{b}	4.01±0.08 ^{b}	3.21±0.09 ^{b}	98.33+2.89
9	1:5	0	1,250.61± 99.00 ^{a}	3.66±0.11 ^{a}	3.37±0.06 ^{b}	96.67+5.77
10	1:5	1,000	1,362.16±148.89 ^{a}	3.77±0.14 ^{a}	3.39±0.08 ^{b}	98.33+2.89
โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช			< 0.05	< 0.05	< 0.05	NS
เอนไซม์ไฟเตส			< 0.05	< 0.05	< 0.05	NS
โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืชXเอนไซม์ไฟเตส			NS	NS	NS	NS

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

3.2.3 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทั้ง 10 สูตร แสดงในตารางที่ 17 โดยพบว่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาทดลองไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืชที่ต่างกัน กับการเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหาร โดยมีรายละเอียดดังนี้

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($p<0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารที่สัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช 1:1, 1:2 และ 1:3 มีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุด มีค่าอยู่ในช่วง $1.23 \pm 0.02 - 1.34 \pm 0.06$ รองลงมาคือ ปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช 1:4 (มีค่าอยู่ในช่วง 1.27 ± 0.03 - 1.39 ± 0.09) และ 1:5 (มีค่าอยู่ในช่วง $1.38 \pm 0.07 - 1.40 \pm 0.04$) ตามลำดับ ส่วนการเสริมเอนไซม์ไฟเตส พบว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ระดับ 1,000 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารไม่เสริมเอนไซม์ (ตารางที่ 17)

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาทดลองที่ได้รับอาหารทั้ง 10 สูตร มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($p<0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง $2.30 \pm 0.07 - 2.69 \pm 0.08$ ปลาที่มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนดีที่สุดคือ กลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช 1:2 รองลงมาคือ 1:3, 1:4, 1:1 และ 1:5 ตามลำดับ และพบว่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์ไฟเตสมีแนวโน้มดีกว่าการไม่เสริมเอนไซม์ ($p<0.05$) (ตารางที่ 17)

การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืชต่างกันมีปฏิสัมพันธ์กับการเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหาร โดยพบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (AP:PP เท่ากับ 1:1 และไม่เสริมเอนไซม์ไฟเตส) และ 6 (AP:PP เท่ากับ 1:3 และเสริมเอนไซม์ไฟเตส) มีการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิสูงสุดคือ 41.23 + 1.91 และ 40.27 ± 0.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนโปรตีนจากพืชสูงขึ้นทำให้ค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนต่ำ (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 17 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช และเอนไซม์ไฟเตส ในระดับแตกต่างกันเป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช	เอนไซม์ไฟเตส (ยูนิตต่ออาหาร 1 กก)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน	การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (%)
1	1:1	0	1.34 ± 0.06^{ab}	2.39 ± 0.11^{b}	41.23 ± 1.91^{f}
2	1:1	1,000	1.25 ± 0.06^{ab}	2.55 ± 0.13^{b}	36.50 ± 1.89^{de}
3	1:2	0	1.23 ± 0.04^{a}	2.69 ± 0.08^{d}	36.41 ± 1.05^{de}
4	1:2	1,000	1.25 ± 0.04^{a}	2.63 ± 0.09^{d}	37.48 ± 1.32^{e}
5	1:3	0	1.28 ± 0.05^{a}	2.56 ± 0.10^{cd}	35.11 ± 1.44^{cde}
6	1:3	1,000	1.23 ± 0.02^{a}	2.69 ± 0.04^{cd}	40.27 ± 0.62^{f}
7	1:4	0	1.39 ± 0.09^{bc}	2.39 ± 0.16^{bc}	32.85 ± 2.15^{bc}
8	1:4	1,000	1.27 ± 0.03^{bc}	2.62 ± 0.07^{bc}	33.85 ± 0.92^{bcd}
9	1:5	0	1.40 ± 0.04^{c}	2.30 ± 0.07^{a}	29.49 ± 0.86^{a}
10	1:5	1,000	1.38 ± 0.07^{c}	2.34 ± 0.11^{a}	31.70 ± 1.46^{ab}
โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช			< 0.05	< 0.05	< 0.05
เอนไซม์ไฟเตส			< 0.05	< 0.05	NS
โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช X เอนไซม์ไฟเตส			NS	NS	< 0.05

[1]ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

3.2.4 ประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลานิลแดงแปลงเพศ

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้ง โปรตีน และฟอสฟอรัสของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 10 สูตร พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช กับการเสริมเอนไซม์ ดังแสดงในตารางที่ 18

ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้ง พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช 1:4 มีประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้งดีที่สุด คือ 56.70 ± 1.20 – 57.13 ± 0.53 เปอร์เซ็นต์ และการเสริมเอนไซม์ไฟเตสไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้งของปลาทดลอง ($p>0.05$) (ตารางที่ 18)

ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช 1:4 มีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารดีที่สุด คือ 89.10 ± 0.47 – 89.31 ± 0.25 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ 1:5 มีค่าอยู่ในช่วง 88.04 ± 0.13 – 88.22 ± 0.21 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช 1:1, 1:2 และ 1:3 มีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนดีเท่ากัน ($p>0.05$) ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับ 1:4 และ 1:5 โดยมีค่าอยู่ในช่วง 86.29 ± 0.40 – 87.54 ± 0.41 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมเอนไซม์ไฟเตสทำให้ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนดีกว่าปลาที่มีได้อาหารไม่เสริมเอนไซม์ (ตารางที่ 18)

ประสิทธิภาพการย่อยไขมันของปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืชต่างกันมีปฏิสัมพันธ์กับการเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหาร ประสิทธิภาพการย่อยไขมันของปลาทดลองที่ได้รับอาหารทั้ง 10 สูตร มีค่าอยู่ในช่วง 72.25 ± 1.94 – 81.10 ± 0.47 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช 1:3 มีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นๆ ($p<0.05$) ทั้งปลากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมและไม่เสริมเอนไซม์ไฟเตส โดยมีค่าประสิทธิภาพการย่อยไขมันเท่ากับ 80.73 ± 0.91 และ 81.10 ± 0.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 18)

ประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสในอาหาร พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 35.97 ± 4.56 – 56.47 ± 1.78 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช 1:4 และ 1:5 มีประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกันระหว่าง ชุดการทดลอง และมีประสิทธิภาพการย่อยสูงกว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช 1:1, 1:2 และ 1:3 ($p<0.05$) โดยกลุ่มที่ได้รับการเสริมเอนไซม์ไฟเตสมีประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสดีกว่า (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 18 ประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช และเอนไซม์ไฟเตสในระดับแตกต่างกัน เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช	เอนไซม์ไฟเตส (ยูนิตต่ออาหาร 1 กก)	ประสิทธิภาพการย่อย (%)			
			วัตถุแห้ง	โปรตีน	ไขมัน	ฟอสฟอรัส
1	1:1	0	57.26±0.54 ^{bc}	87.22±0.75 ^{a}	77.37±1.88 ^{bc}	36.99 ± 5.32 ^{a}
2	1:1	1,000	53.96±2.95 ^{bc}	87.34±0.22 ^{a}	72.25±1.94 ^{a}	35.97 ± 4.56 ^{a}
3	1:2	0	53.43±1.29 ^{b}	86.29±0.40 ^{a}	79.26±1.10 ^{cd}	40.53 ± 2.19 ^{a}
4	1:2	1,000	54.78±4.23 ^{b}	87.40±0.35 ^{a}	77.11±0.53 ^{bc}	41.09 ± 5.23 ^{a}
5	1:3	0	48.93±1.89 ^{a}	87.07±0.59 ^{a}	81.10±0.47 ^{d}	38.00 ± 5.93 ^{a}
6	1:3	1,000	51.34±1.11 ^{a}	87.54±0.41 ^{a}	80.73±0.91 ^{d}	42.31 ± 2.71 ^{a}
7	1:4	0	57.13±0.53 ^{c}	89.31±0.25 ^{c}	77.35±0.89 ^{bc}	49.53 ± 2.58 ^{b}
8	1:4	1,000	56.70±1.20 ^{c}	89.10±0.47 ^{c}	76.02±1.69 ^{b}	56.47 ± 1.78 ^{b}
9	1:5	0	47.19±2.07 ^{a}	88.04±0.13 ^{b}	76.36±0.46 ^{b}	46.27 ± 3.55 ^{b}
10	1:5	1,000	50.90±1.70 ^{a}	88.22±0.21 ^{b}	77.10±2.16 ^{bc}	52.26 ± 1.00 ^{b}
โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช			< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
เอนไซม์ไฟเตส			NS	< 0.05	< 0.05	< 0.05
โปรตีนสัตว์ ต่อโปรตีนพืชX เอนไซม์ไฟเตส			NS	NS	< 0.05	NS

[1] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

3.2.5 ส่วนประกอบทางโภชนาการของปลาทั้งตัว

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการของปลาทั้งตัวที่ได้รับอาหารทั้ง 10 สูตร แสดงไว้ในตารางที่ 19 ค่าความชื้น และฟอสฟอรัสของปลาไม่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืชที่ต่างกัน กับการเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหาร พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช 1:1 มีค่าความชื้น และฟอสฟอรัสต่ำที่สุด และแตกต่างจากสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 71.72 $\pm$ 2.29 – 75.09 $\pm$ 0.66 เปอร์เซ็นต์ และ 2.03 $\pm$ 0.06 – 2.17 $\pm$ 0.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ส่วนค่าโปรตีน ไขมัน เถ้า และแคลเซียมของปลาทั้งตัว พบว่า ปัจจัยทั้ง 2 คือ สัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช กับการเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารมีปฏิสัมพันธ์กัน และมีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($p<0.05$) โดยค่าโปรตีนเฉลี่ยของปลาทั้งตัวที่ได้รับอาหารทั้ง 10 สูตร อยู่ในช่วง 53.49 $\pm$ 0.14 – 61.52 $\pm$ 0.06 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปลาที่ได้รับอาหารในสูตรที่ 6 (AP:PP เท่ากับ 1:3 และเสริมเอนไซม์) มีโปรตีนในร่างกายสูงที่สุด และแตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ ($P<0.05$) ค่าไขมันเฉลี่ยของปลาทั้งตัวอยู่ในช่วง 20.70 $\pm$ 0.37 – 27.48 $\pm$ 0.38 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับอาหารในสูตรที่ 2 (AP:PP เท่ากับ 1:1 และเสริมเอนไซม์) มีค่าไขมันในปลาทั้งตัวสูงที่สุด เท่ากับ 27.48 $\pm$ 0.38 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการสะสมเถ้าของปลาทั้งตัวมีค่าอยู่ในช่วง 11.71 $\pm$ 0.12 – 16.35 $\pm$ 0.24 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 (AP:PP เท่ากับ 1:2 และไม่เสริมเอนไซม์) มีค่าสูงที่สุด และแตกต่างจากสูตรอื่นๆ ($p<0.05$) การสะสมแคลเซียมของปลาทั้งตัวมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.79 $\pm$ 0.25 – 4.66 $\pm$ 0.13 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 และ 8 มีค่าแคลเซียมสูงที่สุดคือ 4.50 $\pm$ 0.17 และ 4.66 $\pm$ 0.13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างกันระหว่างชุดทดลอง ($p>0.05$) แต่ต่างกับสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางที่ 19 ส่วนประกอบทางโภชนาการของซากปลานิลแดงที่ได้รับอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช และเอนไซม์ไฟเตสในระดับที่แตกต่างกัน เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช	เอนไซม์ไฟเตส (ยูนิตต่ออาหาร 1 กก)	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ฟอสฟอรัส	แคลเซียม
I^0			76.44 ± 0.43	58.13 ± 0.30	20.87 ± 0.36	18.89 ± 0.03	2.99 ± 0.09	5.11 ± 0.15
1	1:1	0	71.72 ± 2.29^{a}	60.40 ± 0.32^{e}	23.29 ± 0.22^{c}	11.71 ± 0.12^{a}	2.03 ± 0.06^{a}	2.79 ± 0.25^{a}
2	1:1	1,000	75.09 ± 0.66^{a}	57.27 ± 0.31^{b}	27.48 ± 0.38^{e}	13.26 ± 0.44^{b}	2.17 ± 0.10^{a}	3.64 ± 0.19^{b}
3	1:2	0	76.78 ± 1.13^{b}	58.37 ± 0.37^{c}	20.70 ± 0.37^{a}	16.35 ± 0.24^{f}	2.50 ± 0.09^{b}	4.10 ± 0.13^{c}
4	1:2	1,000	76.07 ± 1.18^{b}	59.44 ± 0.24^{d}	21.98 ± 0.41^{b}	15.33 ± 0.13^{de}	2.55 ± 0.05^{b}	4.18 ± 0.15^{c}
5	1:3	0	76.35 ± 0.82^{b}	58.06 ± 0.03^{c}	24.55 ± 0.09^{d}	15.67 ± 0.45^{de}	2.46 ± 0.07^{b}	4.38 ± 0.05^{cd}
6	1:3	1,000	75.75 ± 0.48^{b}	61.52 ± 0.06^{f}	22.03 ± 0.14^{b}	15.46 ± 0.31^{de}	2.63 ± 0.00^{b}	4.50 ± 0.17^{d}
7	1:4	0	76.90 ± 1.01^{b}	59.37 ± 0.92^{d}	24.09 ± 0.31^{d}	14.40 ± 0.09^{c}	2.32 ± 0.30^{b}	3.49 ± 0.30^{b}
8	1:4	1,000	77.85 ± 1.40^{b}	58.60 ± 0.41^{c}	23.20 ± 0.10^{c}	15.21 ± 0.46^{d}	2.60 ± 0.21^{b}	4.66 ± 0.13^{d}
9	1:5	0	75.90 ± 1.03^{b}	53.49 ± 0.14^{a}	27.03 ± 0.42^{e}	13.66 ± 0.12^{b}	2.22 ± 0.02^{b}	3.46 ± 0.11^{b}
10	1:5	1,000	76.32 ± 1.19^{b}	57.25 ± 0.22^{b}	24.04 ± 0.29^{d}	15.76 ± 0.06^{e}	2.51 ± 0.06^{b}	4.18 ± 0.20^{c}
โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช			< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
เอนไซม์ไฟเตส			NS	< 0.05	NS	< 0.05	NS	< 0.05
โปรตีนสัตว์ ต่อโปรตีนพืช × เอนไซม์ไฟเตส			NS	< 0.05	< 0.05	< 0.05	NS	< 0.05

[1] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

I^0 = ปลาก่อนทดลอง

3.2.6 องค์ประกอบเลือดและดัชนีตับต่อตัว

ผลวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบเลือดของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารต่างๆ กันทั้ง 10 สูตร แสดงในตารางที่ 20 พบว่า ค่าฮีมาโตคริต ฮีโมโกลบิน ปริมาณเม็ดเลือดขาว และเม็ดเลือดแดง ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($p>0.05$) และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโปรตีนสัตว์โปรตีนพืช กับการเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหาร โดยมีค่าฮีโมโกลบินเฉลี่ยอยู่ในช่วง 27.00 $\pm$ 3.04 – 31.33 $\pm$ 2.02 เปอร์เซ็นต์ ค่าฮีโมโกลบินเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.37 $\pm$ 0.10 – 5.83 $\pm$ 0.20 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเม็ดเลือดขาวเฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วง $2.49 \times 10^6 \pm 3.58 \times 10^5$ – $2.94 \times 10^6 \pm 4.51 \times 10^5$ เซลล์ต่อมิลลิเมตร และปริมาณเม็ดเลือดแดงเฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วง $6.23 \times 10^4 \pm 1.98 \times 10^4$ – $8.88 \times 10^6 \pm 1.55 \times 10^4$ เซลล์ต่อมิลลิเมตร

สำหรับค่าโปรตีนในพลาสมาของปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืชต่างกัน มีปฏิสัมพันธ์กับการเสริมเอนไซม์ไฟเตส โดยพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 8 (AP:PP เท่ากับ 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง ($p>0.05$) (ตารางที่ 20) และมีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 9 (AP:PP เท่ากับ 1:5 ไม่เสริมเอนไซม์ไฟเตส) และ 10 (AP:PP เท่ากับ 1:5 และเสริมเอนไซม์ไฟเตส) ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 20

ค่าดัชนีตับต่อตัวของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช 1:1, 1:2 และ 1:3 มีค่าสูงที่สุด โดยอยู่ในช่วง 1.80 $\pm$ 0.54 – 2.16 $\pm$ 0.39 เปอร์เซ็นต์ และไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง ($p>0.05$) (ตารางที่ 20) แต่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช 1:4 และ 1:5 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และพบว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสทำให้ปลามีค่าดัชนีตับต่อตัวสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมเอนไซม์ ($p<0.05$) (ตารางที่ 20)

ตารางที่ 20 องค์ประกอบเลือดและดัชนีตับต่อตัวปลานิลแดงที่ได้รับอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช และเอนไซม์ไฟเตสในระดับแตกต่างกันเป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช	เอนไซม์ไฟเตส	ฮีมาโตคริต (%)	ฮีโมโกลบิน (g/dl)	โปรตีนในพลาสมา (mg%)	เม็ดเลือดแดง ($x10^6 \pm x10^5$ cell/mm)	เม็ดเลือดขาว ($x10^4 \pm x10^4$ cell/mm)	ดัชนีตับต่อตัว (%)
1	1:1	0	29.50 ± 1.07	5.73 ± 0.29	23.59 ± 0.97^b	2.49 ± 3.58	6.54 ± 1.98	1.80 ± 0.54^b
2	1:1	1,000	30.17 ± 2.25	5.83 ± 0.20	25.72 ± 1.32^b	2.70 ± 1.45	6.92 ± 2.63	2.16 ± 0.39^b
3	1:2	0	30.17 ± 1.94	5.71 ± 0.31	24.48 ± 1.29^b	2.90 ± 6.12	8.13 ± 1.23	1.90 ± 0.15^b
4	1:2	1,000	27.00 ± 3.04	5.59 ± 0.26	22.43 ± 3.32^b	2.78 ± 2.68	6.63 ± 1.57	1.97 ± 0.27^b
5	1:3	0	27.63 ± 0.88	5.37 ± 0.10	25.75± 4.72^b	2.83 ± 1.63	8.88 ± 1.55	1.76 ± 0.21^b
6	1:3	1,000	31.08 ± 0.52	5.57 ± 0.48	22.53 ± 1.12^b	2.94 ± 4.51	8.27 ± 0.15	2.06 ± 0.31^b
7	1:4	0	29.54 ± 0.85	5.76 ± 0.27	22.17 ± 2.18^b	2.89 ± 0.61	6.23 ± 0.75	1.68 ± 0.37^{ab}
8	1:4	1,000	29.83 ± 3.33	5.76 ± 0.63	26.26 ± 5.16^b	2.68 ± 3.38	6.48 ± 0.99	1.87 ± 0.39^{ab}
9	1:5	0	28.83 ± 1.79	5.38 ± 0.47	20.77 ± 1.69^a	2.54 ± 1.66	8.15 ± 0.25	1.42 ± 0.08^a
10	1:5	1,000	31.33 ± 2.02	5.74 ± 0.47	19.36 ± 0.99^a	2.91 ± 5.50	7.25 ± 1.30	1.52 ± 0.17^a
โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช			NS	NS	< 0.05	NS	NS	< 0.05
เอนไซม์ไฟเตส			NS	NS	NS	NS	NS	< 0.05
โปรตีนสัตว์ ต่อโปรตีนพืช × เอนไซม์ไฟเตส			NS	NS	NS	NS	NS	NS

[1] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

3.2.7 ฟอสฟอรัสและแคลเซียมในซีรัม

ค่าฟอสฟอรัสและแคลเซียมในซีรัม ของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 21 จากการวิเคราะห์พบว่า ฟอสฟอรัสในซีรัมมีค่าอยู่ในช่วง 25.95 – 32.15 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และแคลเซียมมีค่าอยู่ในช่วง 13.55 – 16.80 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 21 ฟอสฟอรัสและแคลเซียมในซีรัมของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช และเอนไซม์ไฟเตสในระดับแตกต่างกัน เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช	เอนไซม์ไฟเตส (ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม)	ฟอสฟอรัสในซีรัม (mg %)	แคลเซียมในซีรัม (mg %)
1	1:1	0	30.15	14.30
2	1:1	1,000	27.80	13.55
3	1:2	0	29.25	14.75
4	1:2	1,000	32.15	14.25
5	1:3	0	28.70	16.55
6	1:3	1,000	31.00	14.25
7	1:4	0	30.20	15.55
8	1:4	1,000	27.95	16.50
9	1:5	0	28.95	16.80
10	1:5	1,000	25.95	14.90

[1]เป็นข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ 1 ซ้ำ

3.2.8 การสะสมฟอสฟอรัส และแคลเซียม ในกระดูก

ค่าฟอสฟอรัส และแคลเซียมในกระดูกของปลาทดลอง แสดงในตารางที่ 22 โดยพบว่าค่าฟอสฟอรัสและแคลเซียมในกระดูกของปลานิลที่ได้รับอาหารทั้ง 10 สูตร ไม่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืชกับการเสริมเอนไซม์ไฟเตส โดยฟอสฟอรัสในกระดูกมีค่าอยู่ในช่วง 4.01 $\pm$ 0.04 – 4.10 $\pm$ 0.04 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($p>0.05$) สำหรับแคลเซียมในกระดูกของปลาทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 14.93 $\pm$ 0.05 – 18.72 $\pm$ 0.15 เปอร์เซ็นต์ พบว่า สัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืชที่ต่างกันไม่มีผลต่อการสะสมแคลเซียมในกระดูก ($p>0.05$ แต่ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมเอนไซม์ไฟเตสจะมีแคลเซียมในกระดูกสูงกว่าไม่เสริมเอนไซม์ ($p<0.05$)

ตารางที่ 22 ฟอสฟอรัสในกระดูก และแคลเซียมในกระดูก ของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช และเอนไซม์ไฟเตสในระดับแตกต่างกัน เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช	เอนไซม์ไฟเตส (ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม)	ฟอสฟอรัสในกระดูก (%)	แคลเซียมในกระดูก (%)
1	1:1	0	4.10 $\pm$ 0.04	16.04 $\pm$ 0.25
2	1:1	1,000	4.09 $\pm$ 0.03	17.58 $\pm$ 0.19
3	1:2	0	4.10 $\pm$ 0.03	16.15 $\pm$ 0.13
4	1:2	1,000	4.14 $\pm$ 0.09	18.72 $\pm$ 0.15
5	1:3	0	4.01 $\pm$ 0.04	14.93 $\pm$ 0.05
6	1:3	1,000	4.13 $\pm$ 0.05	18.53 $\pm$ 0.17
7	1:4	0	4.08 $\pm$ 0.02	16.87 $\pm$ 0.30
8	1:4	1,000	4.09 $\pm$ 0.03	17.51 $\pm$ 0.13
9	1:5	0	4.06 $\pm$ 0.01	16.52 $\pm$ 0.11
10	1:5	1,000	4.09 $\pm$ 0.02	18.32 $\pm$ 0.20
โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช			NS	NS
เอนไซม์ไฟเตส			NS	< 0.05
โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช × เอนไซม์ไฟเตส			NS	NS

[1] ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

3.2.9 การสะสมฟอสฟอรัส และแคลเซียม ในมูลปลา

ค่าฟอสฟอรัส และแคลเซียมในมูลของปลาที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 23 โดย พบว่าค่าฟอสฟอรัสและแคลเซียมในมูลปลามีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง ($p<0.05$) แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืชระดับต่างๆ กับการเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหาร โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของโปรตีนจากสัตว์สูงขึ้น ทำให้ค่าฟอสฟอรัสในมูลสูงตามไปด้วย ในขณะที่การเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารทำให้ค่าฟอสฟอรัสในมูลลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริมเอนไซม์ ($p<0.05$) สำหรับค่าแคลเซียมในมูล พบว่าอาหารที่มีสัดส่วนของโปรตีนจากสัตว์สูงขึ้น ทำให้ค่าแคลเซียมในมูลสูงขึ้นเช่นเดียวกับค่าฟอสฟอรัสในมูล แต่การเสริมเอนไซม์ไฟเตสไม่มีผลต่อการลดปริมาณแคลเซียมในมูล

ตารางที่ 23 ระดับฟอสฟอรัสในมูล และระดับแคลเซียมในมูล ของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช และเอนไซม์ไฟเตสในระดับแตกต่างกัน เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช	เอนไซม์ไฟเตส (ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม)	ฟอสฟอรัสในมูล (%)	แคลเซียมในมูล (%)
1	1:1	0	1.72 ± 0.08^{d}	4.68 ± 0.30^{c}
2	1:1	1,000	1.66 ± 0.09^{d}	4.95 ± 0.53^{c}
3	1:2	0	1.46 ± 0.04^{c}	3.61 ± 0.25^{b}
4	1:2	1,000	1.43 ± 0.05^{c}	3.66 ± 0.24^{b}
5	1:3	0	1.34 ± 0.07^{c}	3.43 ± 0.31^{b}
6	1:3	1,000	1.30 ± 0.05^{c}	4.01 ± 0.40^{b}
7	1:4	0	1.17 ± 0.06^{b}	3.10 ± 0.23^{a}
8	1:4	1,000	1.03 ± 0.06^{b}	2.66 ± 0.26^{a}
9	1:5	0	1.02 ± 0.03^{a}	3.16 ± 0.04^{a}
10	1:5	1,000	0.97 ± 0.06^{a}	3.29 ± 0.09^{a}
โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช			< 0.05	< 0.05
เอนไซม์ไฟเตส			< 0.05	NS
โปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืช × เอนไซม์ไฟเตส			NS	NS

[1] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

3.2.10 การศึกษาเนื้อเยื่อวิทยาของตับและไตปลานิลแดงแปลงเพศ

จากผลการศึกษาเนื้อเยื่อตับและไตของปลานิลแดงแปลงเพศ พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 10 สูตร ตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์มีโครงสร้างทางเนื้อเยื่อของตับและไตปกติ

3.2.11 คุณภาพน้ำ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเฉลี่ยก่อนเริ่มการทดลอง และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสดงในตารางผนวก ข ที่ 7-8 โดยพบว่า อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรดด่าง ความเป็นด่าง ความกระด้าง ปริมาณแอมโมเนีย และฟอสฟอรัสอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตของปลา