บทที่ 3

ผลการทดลอง

1. ลักษณะภายนอกและพฤติกรรมของปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ

จากการสังเกตลักษณะภายนอก และพฤติกรรมระหว่างการทดลอง พบว่า ปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่ผสมคาโรทีนอยด์สังเคราะห์ และคาโรทีนอยด์ที่ได้จากการเสริมส-ไปรูไลนาแห้งทุกระดับ ไม่มีความผิดปกติของลักษณะภายนอก และปลาทุกตัวมีพฤติกรรมปกติเมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารชุดควบคุม (คาโรทีนอยด์ 0%, ชุดการทดลองที่ 1) ส่วนสีบริเวณลำตัวพบว่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงในปลาที่ได้รับคาโรทีนอยด์ยกเว้นชุดการทดลองที่เสริมเบตา-แคโรทีน

2. การเจริญเติบโต

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 8 สูตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง 8 สัปดาห์ แสดงไว้ในตารางที่ 6 ซึ่งน้ำหนักปลาเริ่มต้นอยู่ในช่วง 21.25±0.15 – 21.30±0.10 กรัม เมื่อพิจารณาพบว่าปลามีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาของการทดลอง โดยพบว่าการเจริญเติบโตในแต่ละสัปดาห์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) ระหว่างปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมคาโรทีนอยด์สังเคราะห์ 3 ชนิด คือ แอสตาแซนทิน ซีแซนทิน และเบตา-แคโรทีน ที่ระดับ 200 ppm และการเสริมสไปรูไลนาแห้งให้มีคาโรทีนอยด์ในระดับ 50,

100, 150 และ 200 ppm กับชุดควบคุม (คาโรทีนอยด์ 0 ppm) และในสัปดาห์ที่ 8 ของการทดลองพบว่าน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) ระหว่างชุดการทดลอง โดยเฉลี่ยน้ำหนักต่อตัวของปลานิลแดงแปลงเพศอยู่ในช่วง 94.43±9.24 – 101.70±8.32 กรัม (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีคาโรทีนอยด์ในระดับต่างๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1] (หน่วยเป็นกรัม)

สูตรที่	ระยะเวลา (สัปดาห์ที่)				
	0	2	4	6	8
1 (สูตรควบคุม)	21.27±0.16 ns	36.08±1.92 ns	53.56±4.96 ns	77.20±6.50 ns	101.70±8.32 ns
2 (แอสตาแซนทิน 200 ppm)	21.27±0.18 ns	35.49±1.46 ns	52.05±2.59 ns	73.59±3.44 ns	95.27±6.44 ns
3 (ซีแซนทิน200 ppm)	21.27±0.09 ns	34.85±0.43 ns	51.95±3.51 ns	75.08±7.25 ns	96.58±10.31 ns
4 (เบตา-แคโรทีน200 ppm)	21.27±0.12 ns	34.82±1.79 ns	51.52±5.27 ns	73.20±7.95 ns	95.92±10.24 ns
5 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 50 ppm)	21.25±0.15 ns	34.72±0.38 ns	50.67±1.86 ns	71.99±5.58 ns	94.43±9.24 ns
6 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 100 ppm)	21.26±0.13 ns	34.34±0.98 ns	49.95±2.49 ns	71.99±2.98 ns	95.28±5.16 ns
7 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 150 ppm)	21.30±0.10 ns	35.57±1.51 ns	53.42±4.84 ns	77.06±8.86 ns	99.13±9.69 ns
8 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 200 ppm)	21.27±0.04 ns	35.41±0.64 ns	52.09±1.50 ns	74.16±2.64 ns	97.38±5.30 ns

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

3. น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการกินอาหาร อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการรอดตาย

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการกินอาหาร อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการรอดตายของปลานิลแดงแปลงเพศ ที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 8 สูตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 7 พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลานิลแดงแปลงเพศ ทั้ง 8 ชุดการทดลอง เป็นไปในแนวทางเดียวกับน้ำหนักเฉลี่ยของปลา โดยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 344.20±41.40–378.23±38.64 เปอร์เซ็นต์โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05)อัตราการกินอาหารของปลาทดลองทั้ง 8 สูตร มีค่าอยู่ในช่วง 3.14±0.08 – 3.39±0.05 เปอร์เซ็นต์/ตัว/วัน โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยปลาที่ได้รับอาหารในกลุ่มที่ได้รับคาโรทีนอยด์ที่ได้จากการเสริมในสไปรูไลนาแห้งจะมีอัตราการกินอาหารแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับชุดควบคุมและชุดที่เสริมคาโรทีนอยด์สังเคราะห์ (p<0.05) โดยชุดการทดลองที่ 5 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 50 ppm) และชุดการทดลองที่ 8 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 200 ppm) มีอัตราการกินอาหารสูงและมีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม (คาโรทีนอยด์ 0 ppm) (p <0.05) รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 6 (คาโรที-นอยด์จากสไปรูไลนา 100 ppm) และชุดการทดลองที่ 7 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 150 ppm) และ กลุ่มที่ได้รับคาโรทีนอยด์สังเคราะห์คือชุดการทดลองที่ 2 (แอสตาแซนทิน 200 ppm) ชุดการทดลองที่ 3 (ซีแซนทิน 200 ppm) และชุดการทดลองที่ 4 (เบตา-แคโรทีน 200 ppm) มีอัตราการกินอาหารไม่แตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม (p>0.05) สำหรับอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อยู่ในช่วง 1.31±0.16–1.44±0.15 กรัม/ตัว/วันโดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05) (ตารางที่ 7)

อัตราการรอดตายของปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 8 สูตรพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 98.33±2.89 – 100 เปอร์เซ็นต์(ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการกินอาหาร อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการรอดตายของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีคาโรทีนอยด์ในระดับต่างๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

สูตรที่	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น[2] (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการกินอาหาร[3] (เปอร์เซ็นต์/ตัว/วัน)	อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน[4] (กรัม/ตัว/วัน)	อัตราการรอดตาย[5] (เปอร์เซ็นต์)
1 (control)	378.23±38.64^{ns}	3.14±0.08^{a}	1.44±0.15^{ns}	100 ±0.00^{ns}
2 (แอสตาแซนทิน 200 ppm)	348.12±33.80^{ns}	3.21±0.03^{ab}	1.32±0.12^{ns}	100±0.00^{ns}
3 (ซีแซนทิน 200 ppm)	354.30±50.42^{ns}	3.15±0.07^{a}	1.34±0.19^{ns}	100±0.00^{ns}
4 (เบตา-แคโรทีน 200 ppm)	351.09±48.53^{ns}	3.23±0.03^{abc}	1.33±0.18^{ns}	100±0.00^{ns}
5 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 50 ppm)	344.20±41.40^{ns}	3.39±0.05^{d}	1.31±0.16^{ns}	100±0.00^{ns}
6 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 100 ppm)	348.28±25.40^{ns}	3.28±0.10^{bc}	1.32±0.09^{ns}	100±0.00^{ns}
7 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 150 ppm)	365.34±43.34^{ns}	3.28±0.05^{bc}	1.39±0.17^{ns}	100±0.00^{ns}
8 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 200 ppm)	357.91±24.06^{ns}	3.33±0.05^{cd}	1.36±0.09^{ns}	98.33±2.89^{ns}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

[2]น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น = (น้ำหนักสุดท้าย – น้ำหนักเริ่มต้น) x 100/น้ำหนักเริ่มต้น

[3]อัตราการภินอาหาร = น้ำหนักอาหารแห้งที่ปลากินx100/(นน.ปลาเฉลี่ยเริ่มต้น + นน.ปลาเฉลี่ยสุดท้าย) /2 x จำนวนปลาเริ่มต้น +จำนวนปลาสุดท้าย/2 x ระยะเวลาที่เลี้ยงปลา

[4]อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน =(น.น.ปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง-น.น.ปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง)/เวลา (วัน) × จำนวนตัว

[5]อัตราการรอดตาย = จำนวนปลาที่เหลือ x 100/จำนวนปลาเริ่มต้น

4. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 8 สูตร แสดงดังตารางที่ 8 พบว่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีค่าอยู่ในช่วง 1.35±0.07–1.51±0.07 และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยปลาที่ได้รับอาหารในกลุ่มที่เสริมคา-โรทีนอยด์สังเคราะห์ ในชุดการทดลองที่ 2 (แอสตาแซนทิน 200 ppm), ชุดการทดลองที่ 3 (ซีแซน-ทิน 200 ppm) และ ชุดการทดลองที่ 4 (เบตา-แคโรทีน 200 ppm) และปลาที่ได้รับอาหารในกลุ่มคา-โรทีนอยด์ที่ได้จากการเสริมสไปรูไลนาแห้ง ในชุดการทดลองที่ 6 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 100 ppm) และ ชุดการทดลองที่ 7 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 150 ppm) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม (p>0.05) ส่วนชุดการทดลองที่ 5 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 50 ppm) และชุดการทดลองที่ 8 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 200 ppm) มีค่าด้อยกว่าชุดควบคุม (p<0.05) (ตารางที่ 8)

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 8 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.15±0.11 – 2.42±0.13 โดยพบว่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในชุดการทดลองที่ 2 ถึง ชุดการทดลองที่ 4 และชุดการทดลองที่ 6 ถึง ชุดการทดลองที่ 8 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) กับชุดควบคุม ส่วนชุดการทดลองที่ 5 มีประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากโปรตีนต่ำที่สุด แตกต่างกันทางสถิติ กับชุดควบคุม (p<0.05) (ตารางที่ 8)

การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 37.63±0.44 – 51.45±1.17 เปอร์เซ็นต์ โดยแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มคือ ชุดการทดลองที่มีการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิสูงได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารในชุดการทดลองที่ 2 ถึงชุดการทดลองที่ 5 และ ชุดการทดลองที่ 7 ซึ่งมีการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิอยู่ในเกณฑ์ดี รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 6 ส่วนชุดการทดลองที่ 8 มีการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิต่ำที่สุดแตกต่างกับชุดควบคุม (p<0.05) (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน การใช้ประโยชน์จากโปรตีน

สุทธิของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีคาโรทีนอยด์ในระดับต่างๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

สูตรที่	อัตราการเปลี่ยน	ประสิทธิภาพ	การใช้ประโยชน์
จาก	อาหารเป็นเนื้อ[2]	การใช้โปรตีน[3]	โปรตีนสุทธิ[4] (%)
1 (สูตรควบคุม)	1.35±0.07[a]	2.42±0.13[b]	51.45±1.17[e]
2 (แอสตาแซนทิน 200 ppm)	1.42±0.04[abc]	2.30±0.07[ab]	43.10±0.04[cd]
3 (ซีแซนทิน200 ppm)	1.39±0.10[ab]	2.38±0.17[b]	43.75±0.21[cd]
4 (เบตา-แคโรทีน 200 ppm)	1.43±0.07[abc]	2.33±0.11[ab]	45.43±1.22[d]
5 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 50 ppm)	1.51±0.07[c]	2.15±0.11[a]	43.53±1.82[cd]
6 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 100 ppm)	1.45±0.04[abc]	2.26±0.06[ab]	41.14±0.35[b]
7 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 150 ppm)	1.42±0.05[abc]	2.31±0.08[ab]	45.38±0.04[d]
8 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 200 ppm)	1.47±0.03[bc]	2.24±0.03[ab]	37.63±0.44[a]

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ[2] จากการรวมตัวอย่างและแยกวิเคราะห์ 3 ซ้ำ[3,4])

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

[2]อัตราแลกเนื้อ = น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม) / น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)

[3]ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) / น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน

[4]การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ = โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) x น้ำหนักโปรตีนที่ปลากินทั้งหมด (กรัม) /100

5. องค์ประกอบทางโภชนาการของปลาทั้งตัว

องค์ประกอบทางโภชนาการของปลาทั้งตัวก่อนทดลอง และปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 8 สูตร เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 9 โดยพบว่าระดับของความชื้นในปลาทั้งตัวที่ได้รับอาหารเสริมคาโรทีนอยด์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยความชื้นในตัวปลามีค่าอยู่ในช่วง 71.32 ± 0.33 - 76.08 ± 1.04 เปอร์เซ็นต์ โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือปลาที่ได้รับอาหารทดลองในชุดการทดลองที่ 6 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 100 ppm) และชุดการทดลองที่ 8 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 200 ppm) มีค่าสูงแตกต่างกับชุดควบคุม (p<0.05) รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2 (แอสตาแซนทิน 200 ppm), ชุดการทดลองที่ 3(ซี-แซนทิน 200 ppm) และ ชุดการทดลองที่ 7 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 150 ppm) ซึ่งไม่แตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05) ส่วนชุดการทดลองที่ 4 (เบตา-แคโรทีน 200 ppm) และ 5 (คา-โรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 50 ppm) มีค่าต่ำที่สุดไม่แตกต่างกับชุดควบคุม (p>0.05) (ตารางที่ 9)

โปรตีนในตัวปลาที่ได้รับอาหารเสริมคาโรทีนอยด์ทั้ง 8 สูตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยโปรตีนในตัวปลามีค่าอยู่ในช่วง 56.03 ± 0.09 – 59.54 ± 0.37 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งโดยในชุดการทดลองที่ 2 (แอสตาแซนทิน 200 ppm), ชุดการทดลองที่3 (ซีแซนทิน 200 ppm) และ ชุดการทดลองที่ 7 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 150 ppm) มีระดับโปรตีนสูงที่สุดแตกต่างกับชุดควบคุม (p<0.05) รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 6 (คา-โรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 100 ppm) และชุดการทดลองที่ 8 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 200 ppm) ซึ่งไม่แตกต่างกับชุดควบคุม (p>0.05) ส่วนชุดการทดลองที่ 4 (เบตา-แคโรทีน 200 ppm) และชุดการทดลองที่ 5 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 50 ppm) มีค่าต่ำที่สุดแตกต่างกับชุดควบคุม (p<0.05) (ตารางที่ 9)

ไขมันในตัวปลาที่ได้รับอาหารเสริมคาโรทีนอยด์ทั้ง 8 สูตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยไขมันในตัวปลามีค่าอยู่ในช่วง 17.45 ± 0.01 – 24.10 ± 0.46 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งโดยพบว่าชุดการทดลองที่เสริมคาโรทีนอยด์จะมีไขมันต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยในชุดการทดลองที่ 4 (เบตา-แคโรทีน 200 ppm) มีระดับไขมันสูงแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ (p<0.05) รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 3 (ซี-แซนทิน 200 ppm), ชุดการทดลองที่ 5 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 50 ppm) และชุดการทดลองที่ 6 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 100 ppm) ซึ่งไม่แตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05) รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 7 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 150 ppm) และชุดการทดลองที่ 8 (คา-โรที

ตารางที่ 9 ส่วนประกอบทางโภชนาการของปลาทั้งตัวที่ได้รับอาหารที่มีคาโรทีนอยด์ในระดับต่างๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1] (%บนฐานน้ำหนักแห้ง)

สูตรที่	ส่วนประกอบ (เปอร์เซ็นต์)			
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า
ปลาเริ่มต้น	72.61±1.18	50.50±0.33	23.08±0.65	15.91±0.45
1 (สูตรควบคุม)	71.32±0.33^{a}	57.49±0.26^{b}	24.10±0.46^{e}	13.79±0.08^{a}
2 (แอสตาแซนทิน 200 ppm)	73.84±0.55^{bcd}	58.76±0.39^{cd}	17.45±0.01^{a}	16.89±0.24^{de}
3 (ซีแซนทิน 200 ppm)	73.30±0.69^{bcd}	59.54±0.37^{d}	20.89±0.91^{c}	15.03±0.59^{b}
4 (เบตา-แคโรทีน 200 ppm)	72.16±0.73^{ab}	56.03±0.09^{a}	22.43±0.08^{d}	15.45±0.30^{bc}
5 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 50 ppm)	72.94±0.80^{abc}	56.24±0.14^{a}	21.15±0.56^{c}	15.58±0.01^{bc}
6 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 100 ppm)	74.88±1.69^{de}	58.04±0.59^{bc}	20.58±0.08^{c}	16.05±0.19^{cd}
7 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 150 ppm)	74.41±0.85^{cd}	59.40±0.70^{d}	18.79±0.31^{b}	17.50±0.19^{e}
8 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 200 ppm)	76.08±1.04^{e}	57.61±0.36^{b}	18.55±0.31^{b}	17.35±0.76^{e}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการรวมตัวอย่างและแยกวิเคราะห์3 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

6. องค์ประกอบเลือดปลา

องค์ประกอบเลือดปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 8 สูตร เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 10 พบว่าค่าฮีโมโกลบินรวมของปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่เสริมคาโรทีนอยด์ทั้ง 8 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05) มีค่าอยู่ในช่วง 7.13±1.03-7.81±1.19 g/dl

ค่าฮีมาโตคริตของปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่เสริมคาโรทีนอยด์ทั้ง 8 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05) มีค่าอยู่ในช่วง 29.84±3.60-35.52±5.37 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10)

ปริมาณเม็ดเลือดขาวของปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่เสริมคาโรทีนอยด์ทั้ง 8 สูตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) มีค่าอยู่ในช่วง 8.11±0.29-14.19±1.62 ($\times 10^4$ cell/mm^3) พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมคาโรทีนอยด์มีค่าสูงกว่าชุดควบคุม(p <0.05) โดยในชุดการทดลองที่ 2 (แอสตาแซนทิน 200 ppm), ชุดการทดลองที่ 5(คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 50 ppm), ชุดการทดลองที่ 6 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 100 ppm), ชุดการทดลองที่ 7 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 150 ppm) และ ชุดการทดลองที่ 8 (คาโรทีนอยด์จากสไป-รูไลนา 200 ppm) มีค่าสูงแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม (p<0.05) รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 3 (ซีแซนทิน 200 ppm) ส่วนชุดการทดลองที่ 4 (เบตา-แคโรทีน 200 ppm) พบว่ามีค่าต่ำที่สุดไม่แตกต่างกับชุดควบคุม (p>0.05) (ตารางที่ 10)

ปริมาณเม็ดเลือดแดงของปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่เสริมคาโรทีนอยด์ทั้ง 8 สูตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) มีค่าอยู่ในช่วง 1.64±0.28-2.86±0.59 ($\times 10^6$ cell/mm^3) โดยพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมคาโรทีนอยด์มีค่าสูงแตกต่างกับชุดควบคุม (p<0.05) โดยในชุดการทดลองที่เสริมคาโรทีนอยด์ในชุดการทดลองที่ 2-8 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05) (ตารางที่ 10)

พลาสมาโปรตีนของปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่เสริมคาโรทีนอยด์ทั้ง 8 สูตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) มีค่าอยู่ในช่วง 3.25±0.46-4.16±0.50 g/dl โดยในชุดการทดลองที่ 4-6 มีค่าไม่แตกต่างกับชุดควบคุม (p>0.05) แต่ในชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่ 3, ชุดการทดลองที่ 7 และ ชุดการทดลองที่ 8 มีค่าต่ำที่สุดแตกต่างกับชุดควบคุม (p<0.05) (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ปริมาณฮีโมโกลบินรวม, ฮีมาโตคริต, เม็ดเลือดขาว, เม็ดเลือดแดง และ พลาสมาโปรตีน ของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับคาโรทีนอยด์ในระดับต่างๆ เป็น เวลา 8 สัปดาห์[1]

สูตรที่	ฮีโมโกลบินรวม (g/dl)	ฮีมาโตคริต (%)	เม็ดเลือดขาว ($\times 10^4$ cell/mm^3)	ม็ดเลือดแดง ($\times 10^6$cell/mm^3)	พลาสมาโปรตีน (g/dl)
1 (สูตรควบคุม)	7.14±0.37^{ns}	35.52±5.37^{ns}	8.11±0.29^{a}	1.64±0.28^{a}	4.16±0.50^{b}
2 (แอสตาแซนทิน 200 ppm)	7.13±1.03^{ns}	29.84±3.60^{ns}	12.62±2.28^{cd}	2.60±0.59^{b}	3.56±0.32^{a}
3 (ซีแซนทิน 200 ppm)	7.74±0.88^{ns}	32.44±3.59^{ns}	11.18±1.62^{bc}	2.86±0.59^{b}	3.25±0.46^{a}
4 (เบตา-แคโรทีน 200 ppm)	7.38±0.57^{ns}	32.10±3.89^{ns}	10.80±2.28^{abc}	2.73±0.98^{b}	3.63±0.19^{ab}
5 (คาโรทีนอยด์ จากสไปรูไลนา 50 ppm)	7.64±1.00^{ns}	33.63±7.43^{ns}	14.19±1.62^{d}	2.64±0.41^{b}	3.67±0.16^{ab}
6 (คาโรทีนอยด์ จากสไปรูไลนา 100 ppm)	7.81±1.19^{ns}	31.72±6.24^{ns}	12.67±2.42^{cd}	2.62±1.26^{b}	3.70±0.39^{ab}
7 (คาโรทีนอยด์ จากสไปรูไลนา 150 ppm)	7.51±0.75^{ns}	33.49±5.88^{ns}	11.73±1.20^{bcd}	2.74±0.30^{b}	3.51±0.86^{a}
8 (คาโรทีนอยด์ จากสไปรูไลนา 200 ppm)	7.68±0.61^{ns}	33.78±7.05^{ns}	12.72±2.54^{cd}	2.61±0.30^{b}	3.46±0.17^{a}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 9 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

7. สีบริเวณลำตัวของปลานิล

จากลักษณะภายนอก พบว่า ในชุดการทดลองที่ 2-3 (แอสตาแซนทิน 200 ppm และ ซีแซนทิน 200 ppm) และชุดการทดลองที่ 5-8 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 50, 100, 150 และ 200 ppm ตามลำดับ) ปลาจะมีสีเหลืองส้ม แดงส้ม และสีแดงเลือดนกอย่างชัดเจน บริเวณข้างลำตัวเมื่อได้รับอาหารที่เสริมแอสตาแซนทิน ซีแซนทิน และคาโรทีนอยด์ที่ได้จากการเสริมสไปรูไลนาแห้ง แต่ในสูตรควบคุมและชุดการทดลองที่เสริมเบตา-แคโรทีน จะมีสีจาง ค่าสีบริเวณลำตัวปลาแสดงไว้ดังตารางที่ 11 เมื่อค่าความสว่างของสีตัว (ค่า L) เป็นบวกแสดงว่าเป็นสีขาวหรือสว่าง ส่วนค่าเป็นลบแสดงว่าเป็นสีดำ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 40.04±4.13–55.12±3.75 ในชุดการทดลองที่ 4 (เบตา-แคโรทีน 200 ppm) โดยมีค่าสูงที่สุดไม่แตกต่างกับชุดควบคุม (p>0.05) แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับชุดการทดลองอื่นๆ (p<0.05) รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2, ชุดการทดลองที่5, ชุดการทดลองที่6 และ ชุดการทดลองที่8 ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05) ส่วนในชุดการทดลองที่ 3 และ ชุดการทดลองที่ 7 มีค่าต่ำที่สุดแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม (p <0.05) (ตารางที่ 11)

ค่าระดับสีแดง-เขียว (ค่า a) ค่าเป็นบวกแสดงว่าเป็นสีแดงส่วนค่าเป็นลบแสดงว่าเป็นสีเขียว พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมคาโรทีนอยด์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง -1.86±0.80 – 9.10±2.19 โดยในชุดการทดลองที่ 3 (ซีแซนทิน 200 ppm) มีค่าสูงที่สุด แตกต่างกับชุดควบคุม (p<0.05) รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 7 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 150 ppm) และชุดการทดลองที่ 8 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 200 ppm) ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05) รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2 (แอสตาแซนทิน 200 ppm), ชุดการทดลองที่ 5 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 50 ppm) และ ชุดการทดลองที่ 6 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 100 ppm) ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05) แต่แตกต่างกับชุดควบคุม (p<0.05) ส่วนในชุดการทดลองที่ 4 (เบตา-แคโรทีน 200 ppm) มีค่าต่ำที่สุด ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม (p>0.05) (ตารางที่ 11)

ค่าระดับสีเหลือง-น้ำเงิน (ค่า b) ค่าเป็นบวกแสดงว่าเป็นสีเหลืองส่วนค่าเป็นลบแสดงว่าเป็นสีน้ำเงิน พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมคาโรทีนอยด์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง -2.12±1.02 – 8.44±2.85 โดยในชุดการทดลองที่ 2 (แอสตาแซนทิน 200 ppm), ชุดการทดลองที่ 5 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 50 ppm) และ ชุดการทดลองที่ 8 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 200 ppm) มีค่าสูงที่สุดแตกต่างกับชุดควบคุม (p<0.05) รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 3 (ซีแซนทิน 200 ppm), ชุดการทดลองที่ 6 (คาโรทีนอยด์

จากสไปรูไลนา 100 ppm) และ ชุดการทดลองที่ 7 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 150 ppm) ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05) และชุดการทดลองที่ 4 (เบตา-แคโรทีน 200 ppm) มีค่าต่ำแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม (p<0.05) (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 ค่าสี (L, a, b) ของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีคาโรทีนอยด์ในระดับต่างๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

สูตรที่	ค่า L(สว่าง)	ค่า a (แดง)	ค่า b (เหลือง)
1(สูตรควบคุม)	52.37±3.66^{cd}	-1.86±0.80^{a}	-2.12±1.02^{a}
2 (แอสตาแซนทิน 200 ppm)	47.83±2.51^{b}	3.09±1.88^{b}	6.36±2.68^{cd}
3 (ซีแซนทิน 200 ppm)	40.04±4.13^{a}	9.10±2.19^{e}	4.92±1.67^{c}
4 (เบตา-แคโรทีน 200 ppm)	55.12±3.75^{d}	-1.46±1.33^{a}	0.33±2.22^{b}
5 (คาโรทีนอยด์ จากสไปรูไลนา 50 ppm)	49.82±2.08^{bc}	2.26±1.03^{b}	7.13± 1.94^{cd}
6 (คาโรทีนอยด์ จากสไปรูไลนา 100 ppm)	48.50±3.85^{bc}	3.79±2.67^{bc}	5.55±1.49^{c}
7 (คาโรทีนอยด์ จากสไปรูไลนา 150 ppm)	41.84±2.15^{a}	7.17±0.98^{d}	6.03±1.30^{c}
8 (คาโรทีนอยด์ จากสไปรูไลนา 200 ppm)	46.71±2.55^{b}	5.33±0.73^{cd}	8.44±2.85^{d}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 6 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

8 ค่าแอนติบอดี ไตเตอร์

จากการศึกษาค่าแอนติบอดี ไตเตอร์ ซึ่งเป็นค่าการจับตัวและเกิดตะกอนระหว่างแอนติบอดีต่อแอนติเจน แสดงไว้ดังตารางที่ 12 พบว่าปลานิลแดงที่ได้รับอาหารที่เสริมคาโรที-นอยด์จะมีค่าสูงขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม (p<0.05) ยกเว้นในสูตรอาหารชุดการทดลองที่ 4 (เบตา-แคโรทีน 200 ppm) ที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม (p>0.05) โดยในชุดการทดลองที่เสริมคาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนาแห้งเพิ่มขึ้นแต่ละระดับ จะทำให้ค่าแอนติบอดีเพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยในชุดการทดลองที่ 7 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 150 ppm) และ ชุดการทดลองที่ 8 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 200 ppm) จะมีค่าสูงที่สุดแตกต่างกับชุดควบคุม (p>0.05) รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 3 (ซีแซนทิน 200 ppm) และชุดการทดลองที่ 6 (คาโรที-นอยด์จากสไปรูไลนา100 ppm) ซึ่งไม่แตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05) และชุดการทดลองที่ 2 (แอสตาแซนทิน 200 ppm) และ 5 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 50 ppm) ส่วนในชุดการทดลองที่ 4 จะมีค่าต่ำที่สุดไม่แตกต่างกับชุดควบคุม (p>0.05) (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 12 ค่าแอนติบอดี ไตเตอร์ (antibody titer) ของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีคาโรทีนอยด์ระดับต่างๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์

สูตรที่	ค่าแอนติบอดีไตเตอร์[1]
1 (สูตรควบคุม)	1:8±0.00 [a]
2 (แอสตาแซนทิน)	1:16±0.00 [b]
3 (ซีแซนทิน)	1:32±0.00 [c]
4 (เบตา-แคโรทีน)	1:8±0.00 [a]
5 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 50 ppm)	1:16±0.00 [b]
6 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 100 ppm)	1:32±0.00 [c]
7 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 150 ppm)	1:64±0.00 [d]
8 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 200 ppm)	1:64±0.00 [d]

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=5)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

9. ปริมาณคาโรทีนอยด์รวมที่สะสมในตัวปลา

ปริมาณคาโรทีนอยด์รวมที่สะสมในตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 8 สูตร เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 13 พบว่าปริมาณคาโรทีนอยด์รวมที่สะสมในตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่เสริมคาโรทีนอยด์ทั้ง 8 สูตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) มีค่าอยู่ในช่วง 7.28±0.49-31.69±1.66 ppm โดยจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามระดับคา-โรทีนอยด์ที่เพิ่มขึ้น โดยในชุดการทดลองที่ 3 (ซีแซนทิน 200 ppm) และชุดการทดลองที่ 7 (คาโรที-นอยด์จากสไปรูไลนา 150 ppm) จะมีค่าสูงที่สุดแตกต่างกับชุดควบคุมและชุดการทดลองอื่นๆ (p<0.05) รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 8 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 200 ppm), ชุดการทดลองที่ 6 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 100 ppm), ชุดการทดลองที่ 2 (แอสตาแซนทิน 200 ppm) และ ชุดการทดลองที่ 5 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 50 ppm) ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม (p<0.05) โดยในชุดการทดลองที่ 4 (เบตา-แคโรทีน 200 ppm) จะมีค่าต่ำที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม (p>0.05) (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 ปริมาณคาโรทีนอยด์ที่สะสมในตัวของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีคาโรทีนอยด์ในระดับต่างๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

สูตรที่	คาโรทีนอยด์ (ppm)
1 (สูตรควบคุม)	7.28±0.49[a]
2 (แอสตาแซนทิน)	18.58±1.22[c]
3 (ซีแซนทิน)	31.69±1.66[f]
4 (เบตา-แคโรทีน)	8.37±2.65[a]
5 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 50 ppm)	15.58±1.05[b]
6 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 100 ppm)	21.40±1.00[d]
7 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 150 ppm)	30.55±0.59[f]
8 (คาโรทีนอยด์จากสไปรูไลนา 200 ppm)	28.10±0.23[e]

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการรวมตัวอย่างและแยกวิเคราะห์ 4 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสคมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)