บทที่ 3

ผลการทดลอง

1. การทดลองที่ 1: ผลของแคโรทีนอยด์จากสาหร่ายสไปรูไลนา (*Spirulina* sp.) พริกหวาน (*Capsicum annuum* L. var *grossum*) และปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacp.) เปรียบเทียบกับเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอด และการเร่งสีตัวกุ้งขาว (*Penaeus vannamei*)

1.1 ผลการเจริญเติบโตและอัตรารอดตาย

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเริ่มต้น และสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักกุ้งที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของกุ้งขาวที่ได้รับอาหารทั้ง 5 สูตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่ากุ้งมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเมื่อเริ่มทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม อาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ สารสกัดจากสาหร่ายสไปรูลินา 100 พีพีเอ็ม และสารสกัดพริกหวาน 100 พีพีเอ็ม มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว น้ำหนักกุ้งที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) โดยน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวมีค่าอยู่ในช่วง 8.73$\pm$0.61 ถึง 8.96$\pm$0.31 กรัม เปอร์เซ็นต์น้ำหนักกุ้งที่เพิ่มขึ้นมีค่าอยู่ในช่วง 259.01$\pm$24.46 ถึง 269.73$\pm$14.95 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของกุ้งมีค่าอยู่ในช่วง 2.28$\pm$0.12 ถึง 2.33$\pm$0.07 ต่อตัวต่อวัน แต่ผลการทดลองพบกุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมสารสกัดปาล์มน้ำมัน 100 พีพีเอ็ม มีการเจริญเติบโตต่ำสุด โดยกุ้งมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 7.82$\pm$0.45 กรัม มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 220.75$\pm$18.90 เปอร์เซ็นต์และมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 2.08$\pm$0.11 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ซึ่งต่ำกว่ากุ้งขาวทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนอัตรารอดตายของกุ้งขาวทุกชุดการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 85.83$\pm$5.69 ถึง 93.33$\pm$7.20 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของกุ้งขาวหลังได้รับอาหารทดลองที่มีแหล่งของสารสีต่างกันนาน 8 สัปดาห์ *

ชุดการทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น (g)	น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย (g)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/ วัน)	อัตรารอดตาย (%)
ควบคุม	2.43 ± 0.02 ^{ns}	8.73 ± 0.61 ^{b}	259.01 ± 24.46 ^{b}	2.28 ± 0.12 ^{b}	85.83 ± 5.69 ^{ns}
เบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม	2.44 ± 0.02 ^{ns}	8.89 ± 0.26 ^{b}	264.47 ± 7.81 ^{b}	2.31 ± 0.04 ^{b}	89.17 ± 6.87 ^{ns}
สารสกัดจากสาหร่ายสไปรูไลนา 100 พีพีเอ็ม	2.43 ± 0.02 ^{ns}	8.84 ± 0.14 ^{b}	264.15 ± 4.02 ^{b}	2.31 ± 0.02 ^{b}	86.67 ± 2.72 ^{ns}
สารสกัดพริกหวาน 100 พีพีเอ็ม	2.42 ± 0.03 ^{ns}	8.96 ± 0.31 ^{b}	269.73 ± 14.95 ^{b}	2.33 ± 0.07 ^{b}	89.17 ± 14.24 ^{ns}
สารสกัดปาล์มน้ำมัน 100 พีพีเอ็ม	2.44 ± 0.02 ^{ns}	7.82 ± 0.45 ^{a}	220.75 ± 18.90 ^{a}	2.08 ± 0.11 ^{a}	93.33 ± 7.20 ^{ns}

* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.2 อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน

อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของกุ้งขาวที่ได้รับอาหารทดลองที่ผสมสารสีจากแหล่งต่างๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมสารสีที่สกัดจากพริกหวานมีอัตราการกินอาหารสูงสุดร้อยละ 18.34±0.99 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน แตกต่างทางสถิติกับกุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม อาหารผสมสารสกัดจากสาหร่ายสไปรูไลนาและปาล์มน้ำมัน 100 พีพีเอ็ม ซึ่งมีค่าร้อยละ17.28±0.37, 17.02±0.36 และ 16.92±0.22 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม ที่มีค่าร้อยละ 17.93±0.24 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ($p>0.05$) (ตารางที่ 5)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของกุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมปาล์มน้ำมัน 100 พีพีเอ็ม มีค่าสูงสุดโดยมีค่า 2.10±0.15 และแตกต่างทางสถิติกับกุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมสารสกัดสาหร่ายสไปรูไลนาที่มีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำกว่าทุกชุดการทดลอง โดยมีค่า 1.86±0.08 ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม อาหารผสมสารสกัดจากพริกหวานและเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม ซึ่งมีค่า 1.93±0.11, 1.93±0.17 และ 1.91±0.1 ตามลำดับ ($p>0.05$) (ตารางที่ 5)

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของกุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมสารสกัดปาล์มน้ำมัน 100 พีพีเอ็ม ต่ำกว่าทุกชุดการทดลอง โดยมีค่า 1.12±0.08 ซึ่งแตกต่างจากกุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมสารสกัดสาหร่ายสไปรูไลนา 100 พีพีเอ็ม ที่มีค่าสูงสุด 1.86±0.06 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากกุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมสารสกัดพริกหวาน เบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็มและสูตรควบคุม ซึ่งมีค่าร้อยละ 1.21±0.10, 1.23±0.07 และ 1.22±0.07 ตามลำดับ ($p>0.05$) (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน*

ชุดการทดลอง	อัตราการกินอาหาร (%/วัน)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน
ควบคุม	17.28 ± 0.37^{ab}	1.93 ± 0.11^{ab}	1.22 ± 0.07^{ab}
เบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม	17.93 ± 0.24^{bc}	1.91 ± 0.10^{ab}	1.23 ± 0.07^{ab}
สารสกัดจากสาหร่ายสไปรูไลนา 100 พีพีเอ็ม	17.02 ± 0.36^{a}	1.86 ± 0.08^{a}	1.28 ± 0.06^{b}
สารสกัดพริกหวาน 100 พีพีเอ็ม	18.34 ± 0.99^{c}	1.93 ± 0.17^{ab}	1.21 ± 0.10^{ab}
สารสกัดปาล์มน้ำมัน 100 พีพีเอ็ม	16.92 ± 0.22^{a}	2.10 ± 0.15^{b}	1.12 ± 0.08^{a}

* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.3 ความชื้นและองค์ประกอบทางโภชนาการของกุ้งทั้งตัว

ความชื้นในกุ้งขาวทั้งตัวที่ได้รับอาหารผสมสารสกัดพริกหวาน 100 พีพีเอ็ม มีค่า 75.25±1.98 ซึ่งต่ำกว่าทุกชุดการทดลอง แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับกุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม อาหารผสมสารสกัดสาหร่ายสไปรูไลนาและปาล์มน้ำมัน 100 พีพีเอ็ม ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 76.58±0.74 ถึง 77.69±1.77 (ตารางที่ 6)

ปริมาณโปรตีนและไขมันในกุ้งขาวทั้งตัวทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 68.57±0.73 ถึง 69.77±0.49 และ 6.05±0.87 ถึง 7.21±1.23 ตามลำดับ ส่วนปริมาณเถ้าในกุ้งชุดควบคุม และกุ้งที่ได้รับอาหารผสมสารสกัดสาหร่ายสไปรูไลนา 100 พีพีเอ็ม ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าร้อยละ 8.80±0.12 และ 8.79±0.06 ตามลำดับ แต่แตกต่างทางสถิติกับกุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ สารสกัดจากพริกหวานและปาล์มน้ำมัน 100 พีพีเอ็ม ที่มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 9.12±0.02 ถึง 9.20±0.14 (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางโภชนาการของกุ้งที่ได้รับอาหารแตกต่างกันเป็นเวลา 8 สัปดาห์ *

ชุดการทดลอง	ความชื้น (%)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เถ้า (%)
ควบคุม	76.97 ± 1.33^{ab}	69.77 ± 0.49^{a}	6.56 ± 0.08^{a}	8.80 ± 0.12^{a}
เบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม	77.99 ± 0.33^{b}	68.57 ± 0.73^{a}	6.36 ± 0.59^{a}	9.12 ± 0.02^{b}
สารสกัดจากสาหร่ายสไปรูไลนา 100 พีพีเอ็ม	76.58 ± 0.74^{ab}	68.65 ± 0.96^{a}	6.05 ± 0.87^{a}	8.79 ± 0.06^{a}
สารสกัดพริกหวาน 100 พีพีเอ็ม	75.25 ± 1.98^{a}	69.51 ± 0.28^{a}	6.16 ± 0.44^{a}	9.17 ± 0.03^{b}
สารสกัดปาล์มน้ำมัน 100 พีพีเอ็ม	77.69 ± 1.77^{ab}	69.50 ± 0.68^{a}	7.21 ± 1.23^{a}	9.20 ±+ 0.14^{b}

* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากตัวอย่างรวมที่มีการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.4 การเปลี่ยนแปลงของสีตัวและปริมาณแคโรทีนอยด์รวมในกุ้งขาว

การเปลี่ยนแปลงของสีตัวกุ้งขาวที่ได้รับอาหารทดลองผสมสารสีที่สกัดจากวัตถุดิบแหล่งต่างๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ก่อนต้มและหลังต้มเมื่อนำมาเทียบกับพัดสีพบว่าในกุ้งขาวที่ได้รับอาหารทดลองทุกชุดที่ผสมสารสีมีสีตัวเข้มกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารชุดควบคุม (ภาพที่ 4-5) โดยเมื่ออ่านค่าจากพัดสีพบว่ากุ้งที่ได้รับอาหารผสมแคโรทีนอยด์จากแหล่งต่างๆ ทั้ง 4 สูตรมีค่าสีอยู่ในช่วง 20-21 ในขณะที่กุ้งที่ได้รับอาหารชุดควบคุมมีค่าสีอยู่ในช่วง 19-20 (ตารางที่ 7)

ภาพที่ 4 กุ้งขาวก่อนต้มที่ได้รับอาหารผสมแคโรทีนอยด์จากแหล่งต่างๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ภาพที่ 5 กุ้งขาวหลังต้มที่ได้รับอาหารทดลองผสมแคโรทีนอยด์จากแหล่งต่างๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ตารางที่ 7 ปริมาณสีของกุ้งขาวทดลองเมื่อเทียบกับพัดสีหลังจากได้รับอาหารทดลองผสมสารสีจากแหล่งต่างๆ นาน 8 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	ปริมาณสี
ควบคุม	19-20
เบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม	20-21
สารสกัดจากสาหร่ายสไปรูไลนา 100 พีพีเอ็ม	20-21
สารสกัดพริกหวาน 100 พีพีเอ็ม	20-21
สารสกัดปาล์มน้ำมัน 100 พีพีเอ็ม	20-21

กุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม มีค่าความสว่างของสีตัว 55.80±2.85 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าทุกชุดการทดลอง ($p<0.05$) และไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับกุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมสารสกัดสาหร่ายสไปรูไลนา 100 พีพีเอ็ม ที่มีค่า 57.72±1.77 แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับกุ้งขาวได้รับอาหารสูตรควบคุม อาหารผสมสารสกัดพริกหวานและปาล์มน้ำมัน 100 พีพีเอ็ม ซึ่งมีค่าความสว่างของสีตัว 60.03±2.26, 60.07±2.16 และ 58.12±2.53 ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ค่าสีแดงของกุ้งขาวจากการวัดด้วยอุปกรณ์ดังกล่าวพบกุ้งชุดที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมมีค่าต่ำที่สุดและไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับกุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมสารสกัดปาล์มน้ำมัน 100 พีพีเอ็ม โดยมีค่า 7.09±2.06 และ 8.97±1.93 ตามลำดับ ในขณะที่กุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม มีค่าสีแดงสูงที่สุด 11.97±2.73 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับกุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมสารสกัดพริกหวาน 100 พีพีเอ็ม ที่มีค่าสีแดงเฉลี่ย 9.23±2.25 แต่ไม่แตกต่างกับกุ้งชุดที่ได้รับอาหารผสมสารสีที่สกัดจากสาหร่ายสไปรูไลนาที่มีค่าสีแดงเฉลี่ย 10.57±3.10 ($p>0.05$) ส่วนค่าสีเหลืองที่อ่านได้ต่ำสุดพบในกุ้งขาวชุดควบคุมที่มีค่าเฉลี่ย 13.24±2.19 ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับกุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมสารสกัดพริกหวาน 100 พีพีเอ็ม ที่มีค่าสีเหลือง 15.26±3.11 ค่าสีเหลืองสูงสุดในการทดลองนี้พบในกุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม อยู่ที่ระดับ 18.01±2.19 ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) กับกุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมสารสกัดสาหร่ายสไปรูไลนา 100 พีพีเอ็ม ที่มีค่าสีเหลืองเฉลี่ย 17.09±3.06 ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับกุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมและผสมสารสกัดพริกหวานอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ค่าสีตัวกุ้งขาว (L, a, b) จากการวัดโดยใช้เครื่องคัลเลอร์มิเตอร์หลังจากกุ้งทดลองได้รับอาหารทดลองผสมสารสีจากแหล่งต่างๆ นาน 8 สัปดาห์ *

ชุดการทดลอง	ความสว่างของสีตัว (L)	ค่าสีแดง (a)	ค่าสีเหลือง (b)
ควบคุม	60.03 ± 2.26^{c}	7.09 ± 2.06^{a}	13.24 ± 2.19^{a}
เบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม	55.80 ± 2.85^{a}	11.97 ± 2.73^{c}	18.01 ± 2.19^{c}
สารสกัดจากสาหร่ายสไปรูไลนา 100 พีพีเอ็ม	57.22 ± 1.77^{ab}	10.57 ± 3.10^{bc}	17.09 ± 3.06^{bc}
สารสกัดพริกหวาน 100 พีพีเอ็ม	58.12 ± 2.53^{bc}	9.23 ± 2.25^{b}	15.26 ± 3.11^{ab}
สารสกัดปาล์มน้ำมัน 100 พีพีเอ็ม	60.07 ± 2.16^{c}	8.97 ± 1.93^{ab}	15.97 ± 2.81^{bc}

* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากข้อมูล 4 ซ้ำ
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p>0.05$)

การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์รวมในกุ้งขาวทดลองที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ นาน 8 สัปดาห์ พบกุ้งชุดการทดลองที่ได้รับอาหารผสมสารสกัดสาหร่ายสไปรูไลนา มีปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสะสมในตัวสูงที่สุด 92.71±2.68 พีพีเอ็ม รองลงมา ได้แก่ กุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ สารสกัดปาล์มน้ำมันและพริกหวาน ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 85.70±4.99, 75.45±2.32 และ 49.84±3.60 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ส่วนกุ้งชุดที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมมีปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสะสมในตัวต่ำสุด 30.19±4.23 พีพีเอ็ม ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสะสมในตัวกุ้งจากแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ตาราง 9)

ตารางที่ 9 ปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสะสมในกุ้งขาวที่ได้รับอาหารทดลองผสมสารสีจากแหล่งต่างๆ นาน 8 สัปดาห์*

ชุดการทดลอง	ปริมาณแคโรทีนอยด์รวม (พีพีเอ็ม)
ควบคุม	30.19 ± 4.23[a]
เบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม	85.70 ± 4.99[d]
สารสกัดจากสาหร่ายสไปรูไลนา 100 พีพีเอ็ม	92.71 ± 2.68[e]
สารสกัดพริกหวาน 100 พีพีเอ็ม	49.84 ± 3.60[b]
สารสกัดปาล์มน้ำมัน 100 พีพีเอ็ม	75.45 ± 2.32[c]

* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ข้อมูล 4 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p>0.05$)

1.4 องค์ประกอบเลือดกุ้ง

จากการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบต่างๆ ในกุ้งทดลองที่ได้รับอาหารผสมสารสีที่สกัดจากวัตถุดิบแหล่งต่างกัน พบว่าปริมาณเม็ดเลือดรวมของกุ้งขาวทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนค่ากิจกรรมของเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดสในกุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมสารสกัดสาหร่ายสไปรูไลนา 100 พีพีเอ็ม มีค่าสูงสุดเฉลี่ย 480.54±223.39 ยูนิต/นาที/มก.โปรตีน ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับกุ้งทุกชุดการทดลอง รองลงมา ได้แก่ กุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) กับกุ้งชุดควบคุมและกุ้งที่ได้รับอาหารผสมสารสกัดพริกหวาน 100 พีพีเอ็ม โดยกิจกรรมของเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดสมีค่าเฉลี่ย 331.35±307.09, 232.86±151.67 และ 234.35±118.03 ยูนิต/นาที/มก.โปรตีน ตามลำดับ ส่วนกุ้งที่ได้รับอาหารผสมสารสกัดปาล์มน้ำมันมีกิจกรรมของเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดสในเม็ดเลือดต่ำสุดเฉลี่ย 141.10±141.95 ยูนิต/นาที/มก.โปรตีน ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) กับกุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์และสารสกัดสาหร่ายสไปรูไลนา 100 พีพีเอ็ม อย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ปริมาณเม็ดเลือดรวมและกิจกรรมของเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดสในเม็ดเลือดกุ้งขาวที่ได้รับอาหารทดลองผสมสารสีจากแหล่งต่างๆ นาน 8 สัปดาห์*

ชุดการทดลอง	ปริมาณเม็ดเลือดรวม ($x10^6$ เซลล์/มล.)	กิจกรรมของเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดส (ยูนิต/นาที/มก.โปรตีน)
ควบคุม	20.47 ± 9.66 [a]	232.86 ± 151.67 [ab]
เบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม	20.89 ± 13.20 [a]	331.35 ± 307.09 [b]
สารสกัดจากสาหร่ายสไปรูไลนา 100 พีพีเอ็ม	29.20 ± 11.50 [a]	480.54 ± 223.39 [c]
สารสกัดพริกหวาน 100 พีพีเอ็ม	30.20 ± 9.88 [a]	234.35 ± 118.03 [ab]
สารสกัดปาล์มน้ำมัน 100 พีพีเอ็ม	26.50 ± 13.00 [a]	141.10 ± 141.95 [a]

* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ข้อมูล 4 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p>0.05$)

2. การทดลองที่ 2: ผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโตและการสะสมเบตาแคโรทีนในกุ้งขาว

2.1 ผลการเจริญเติบโตและอัตรารอดตาย

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเริ่มต้นของกุ้งขาวในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่ากุ้งขาวชุดควบคุมและชุดการทดลองที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม ทั้งชุดที่เลี้ยงที่ความเค็ม 10 พีพีที และ 30 พีพีที มีค่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยกุ้งชุดที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 10 พีพีที มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยหลังได้รับอาหารที่ผสมและไม่ผสมแคโรทีนอยด์ 8.60±0.16 และ 8.71±0.41 กรัม ตามลำดับ ส่วนกุ้งขาวชุดที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 30 พีพีที มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 10.69±0.82 และ 9.98±0.64 กรัม ตามลำดับ กุ้งขาวที่เลี้ยงในน้ำทะเลความเค็ม 10 พีพีที ทั้งชุดที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม และอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม และกุ้งชุดที่ให้อาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม แล้วเลี้ยงในน้ำทะเลความเค็ม 30 พีพีที มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญจำเพาะที่ไม่มีความแตกแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ย 416.53±26.28, 449.92±42.55 และ 500.63±69.57 ตามลำดับ ส่วนอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมีค่า 2.93±0.09, 3.04±0.14 และ 3.19±0.21 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ พบว่ากุ้งขาว

ที่เลี้ยงในน้ำทะเลความเค็ม 30 พีพีที และได้รับอาหารสูตรควบคุมมีการเจริญเติบโตสูงสุด โดยมีค่าร้อยละของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 562.65±82.79 และมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 3.37±0.21 ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติกับกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมและไม่ผสมแคโรทีนอยด์ แล้วเลี้ยงในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 10 พีพีที อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ตารางที่ 11)

ในส่วนของอัตรารอดตายของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีและไม่มีส่วนผสมแคโรทีนอยด์ในน้ำทะเลที่มีระดับความเค็มต่างกัน พบว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารไม่ผสมสารสีในชุดควบคุม และเลี้ยงในสภาวะที่น้ำมีความเค็ม 10 พีพีที มีค่าเฉลี่ยของอัตรารอดตายเพียง 66.67±11.55 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าอัตรารอดตายของกุ้งขาวในชุดการทดลองอื่นที่มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 83.33±12.17 ถึง 95.83±6.31 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการรอดตายของกุ้งขาวที่ได้รับอาหารทดลองผสมสารสีจากแหล่งต่างๆ นาน 8 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น (g)	น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย (g)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/ วัน)	อัตรารอดตาย (%)
ควบคุม (10 พีพีที)	1.68 ± 0.08 [a]	8.60 ± 0.16[a]	416.53 ± 26.28[a]	2.93 ± 0.09[a]	66.67 ± 11.55 [a]
เบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม (10 พีพีที)	1.62 ± 0.07 [a]	8.71 ± 0.41[a]	449.92 ± 42.55[a]	3.04 ± 0.14[a]	83.33 ± 12.17 [b]
ควบคุม (30 พีพีที)	1.64 ± 0.06 [a]	10.69 ± 0.82[b]	562.65 ± 82.79[b]	3.37 ± 0.21[b]	95.83 ± 6.31 [b]
เบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม (30 พีพีที)	1.66 ± 0.10 [a]	9.98 ± 0.64[b]	500.63 ± 69.57[ab]	3.19 ± 0.21[ab]	91.67 ± 10.00 [b]

* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.2 อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน

ผลการศึกษาอัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของกุ้งขาวที่ได้รับอาหารและเลี้ยงในน้ำทะเลที่มีระดับความเค็มต่างกัน พบว่ากุ้งขาวที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 10 หรือ 30 พีพีที และได้รับอาหารสูตรควบคุมซึ่งไม่ผสมเบตาแคโรทีนมีอัตราการกินอาหารร้อยละ 32.85$\pm$2.29 และ 29.03$\pm$1.62 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม ที่ระดับความเค็มเดียวกันซึ่งมีค่า 29.03$\pm$1.62 และ 28.87$\pm$0.44 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ (ตารางที่ 12)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของกุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมและอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม เมื่อเลี้ยงในน้ำทะเลที่มีระดับความเค็มเดียวกัน พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) แต่เมื่อพิจารณากุ้งชุดที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่มีระดับความเค็มแตกต่างกัน พบว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมและผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม เลี้ยงในน้ำทะเลทีมีความเค็ม 10 พีพีที มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 2.36$\pm$0.33 และ 2.18$\pm$0.22 ซึ่งสูงกว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารทั้ง 2 สูตรแต่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็ม 30 พีพีที ที่มีค่าดังกล่าว 1.63$\pm$0.18 และ 1.71$\pm$0.18 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เช่นเดียวกับประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของกุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมและผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ พบไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเลี้ยงในสภาวะที่น้ำมีความเค็มเท่ากัน แต่พบว่าค่าดังกล่าวมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างชุดที่เลี้ยงในระดับความเค็มต่างกัน โดยพบชุดที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 10 พีพีที โดยมีค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน 1.14$\pm$0.16 และ 1.31$\pm$0.13 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าชุดที่เลี้ยงในน้ำทะเลความเค็ม 3 พีพีที ที่มีค่า 1.66$\pm$0.21 และ 1.49$\pm$0.16 ตามลำดับ (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 12 อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนที่ได้รับอาหารทดลองผสมสารสีจากแหล่งต่างๆ นาน 8 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	อัตราการกินอาหาร (%/ วัน)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน
ควบคุม (10 พีพีที)	32.85 $\pm$ 2.29^{b}	2.36 $\pm$ 0.33^{b}	1.14 $\pm$ 0.16^{a}
เบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม (10 พีพีที)	31.31 $\pm$ 2.14^{ab}	2.18 $\pm$ 0.22^{b}	1.31 $\pm$ 0.13^{a}
ควบคุม (30 พีพีที)	29.03 $\pm$ 1.62^{a}	1.63 $\pm$ 0.18^{a}	1.66 $\pm$ 0.21^{b}
เบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม (30 พีพีที)	28.87 $\pm$ 0.44^{a}	1.71 $\pm$ 0.18^{a}	1.49 $\pm$ 0.16^{b}

* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.3 ความชื้นและองค์ประกอบทางเคมีของกุ้ง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกุ้งทั้งตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปริมาณไขมันและความชื้นในกุ้งขาวทั้งตัวในแต่ละชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) โดยปริมาณไขมันมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 5.58$\pm$0.32 ถึง 6.74$\pm$2.47 และความชื้นมีค่าร้อยละ 77.48$\pm$1.44 ถึง 78.74$\pm$0.67 สำหรับปริมาณโปรตีนในกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม ในน้ำทะเลความเค็ม 10 พีพีที พบมีค่าร้อยละ 62.20$\pm$5.0 ซึ่งต่ำกว่าและมีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) กับกุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมที่เลี้ยงในน้ำที่ความเค็มต่างกันทั้งที่ระดับความเค็ม 10 และ 30 พีพีที ที่มีค่าร้อยละ 70.41$\pm$2.01 และ 70.55$\pm$3.80 ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกุ้งขาวชุดที่ได้รับอาหารสูตรเดียวกันที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 30 พีพีที ที่มีค่าร้อยละ 67.28$\pm$4.53 ส่วนปริมาณเถ้าในกุ้งขาวชุดที่เลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเค็ม 30 พีพีที และได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม มีค่าร้อยละ 8.52$\pm$0.31 ซึ่งมีค่าสูงกว่าและแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเบตาแคโรทีนระดับเดียวกันในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 10 พีพีที และกุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมและเลี้ยงในน้ำทะเลความเค็ม 30 พีพีที ที่มีปริมาณเถ้าเฉลี่ยร้อยละ 7.29$\pm$0.29 และ 6.64$\pm$0.23 ตามลำดับ แต่มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับกุ้งทดลองที่ได้รับอาหารไม่ผสมแคโรทีนอยด์และเลี้ยงในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 10 พีพีที ที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 8.19$\pm$0.18 (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 องค์ประกอบทางโภชนาการของกุ้งทั้งตัวที่ได้รับอาหารแตกต่างกันเป็นเวลา 8 สัปดาห์ (%)

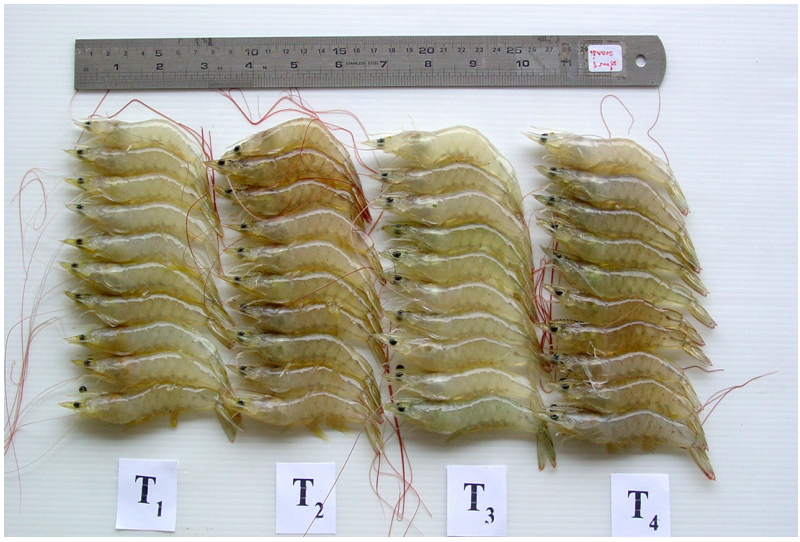
ชุดการทดลอง	ความชื้น	ไขมัน	โปรตีน	เถ้า
ควบคุม (10 พีพีที)	77.48 ± 1.44[a]	5.58 ± 0.32[a]	70.41 ± 2.01[b]	8.19 ± 0.18[c]
เบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม (10 พีพีที)	78.74 ± 0.67[a]	5.85 ± 0.96[a]	62.20 ± 5.0[a]	7.29 ± 0.29[b]
ควบคุม (30 พีพีที)	77.82 ± 1.02[a]	6.74 ± 2.47[a]	70.55 ± 3.80[b]	6.64 ± 0.23[a]
เบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม (30 พีพีที)	77.74 ± 0.89[a]	6.10 ± 0.15[a]	67.28 ± 4.53[ab]	8.52 ± 0.31[c]

* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

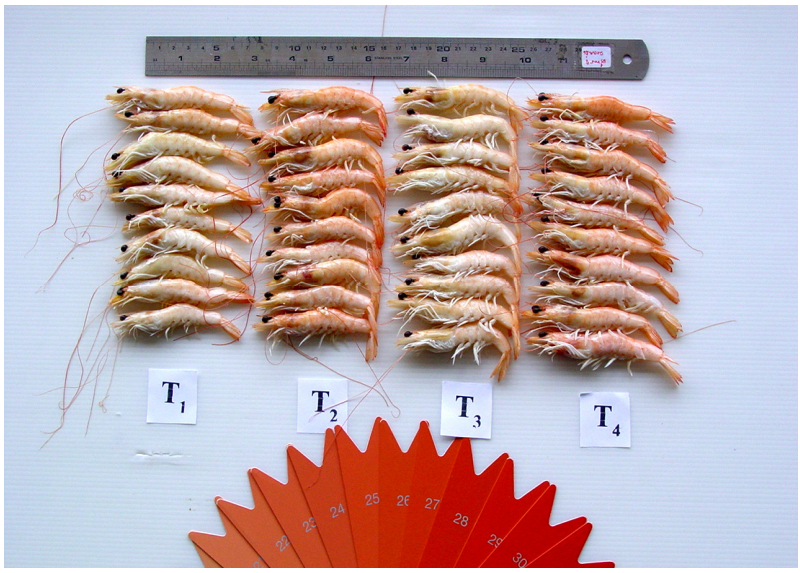
2.4 การเปลี่ยนแปลงของสีตัวและปริมาณแคโรทีนอยด์รวมในกุ้งขาว

กุ้งขาวที่ได้รับอาหารและเลี้ยงที่ความเค็มแตกต่างกันเป็นเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ มีลักษณะสีก่อนต้มที่แตกต่างกันเล็กน้อยโดยกุ้งที่ได้รับอาหารผสมสารทั้งชุดที่เลี้ยงในน้ำความเค็มต่ำและสูงมีสีเข้มกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารชุดควบคุม (ภาพที่ 6-7) เมื่อนำกุ้งทั้ง 2 มาต้มและเทียบสีกับพัดสี พบว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมเป็นเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ ที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็ม 10 และ 30 พีพีที มีค่าสีเทียบกับพัดสีไม่แตกต่างกัน คือมีค่าอยู่ในช่วง 19-20 ส่วนกุ้งที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม และเลี้ยงในน้ำความเค็มทั้ง 2 ระดับ มีค่าไม่แตกต่างกันอยู่ในช่วง 22-23 เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ แต่พบว่าความเข้มของสีเปลือกกุ้งขาวลดลงเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่ผสมสารสีนาน 8 สัปดาห์ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 21-22 (ภาพที่ 8-9 และตารางที่ 14)

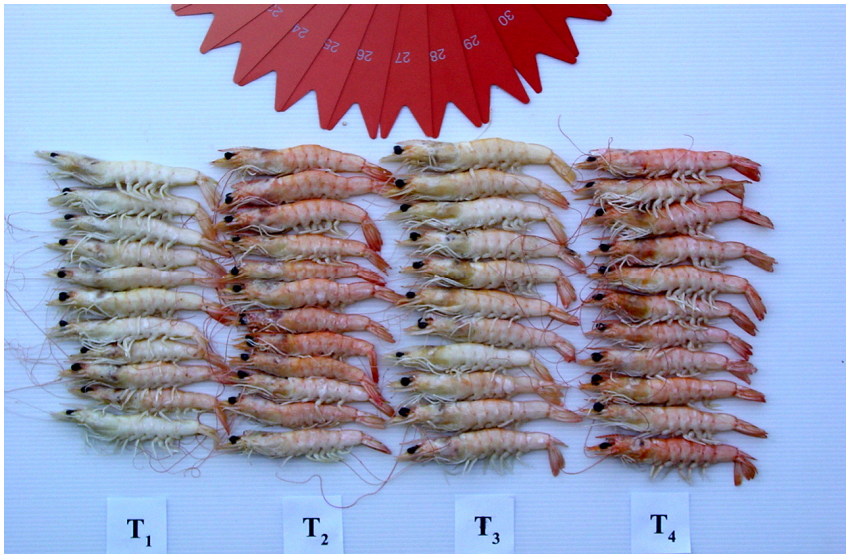


ภาพที่ 6 กุ้งขาวก่อนต้มที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม และเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ เลี้ยงที่ความเค็ม 10 และ 30 พีพีที เป็นเวลา 4 สัปดาห์

ภาพที่ 7 กุ้งขาวก่อนต้มที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม และเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ เลี้ยงที่ความเค็ม 10 และ 30 พีพีที เป็นเวลา 8 สัปดาห์



ภาพที่ 8 กุ้งขาวหลังต้มที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม และเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ เลี้ยงที่ความเค็ม 10 และ 30 พีพีที เป็นเวลา 4 สัปดาห์



ภาพที่ 9 กุ้งขาวหลังต้มที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม และเบตาแคโรทีนสังเคราะห์เลี้ยงที่ความเค็ม 10 และ 30 พีพีที เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ตารางที่ 14 ปริมาณสีของกุ้งขาวทดลองเมื่อเทียบกับพัดสีหลังจากได้รับอาหารทดลองผสมและไม่ผสมสารสีและเลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มต่างกันนาน 4 และ 8 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	ปริมาณสี	
	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 8
ควบคุม (10 พีพีที)	19-20	19-20
เบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม (10 พีพีที)	22-23	21-22
ควบคุม (30 พีพีที)	19-20	19-20
เบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม (30 พีพีที)	22-23	21-22

สำหรับค่าสีตัวของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารและสภาวะที่น้ำมีความเค็มต่างกันนาน 4 สัปดาห์ พบว่ากุ้งทุกชุดการทดลองมีค่าความสว่างของสีตัวไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) โดย กุ้งขาวที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็ม 30 พีพีที ด้วยอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม มีค่าสีแดงสูงสุด 9.67 ± 1.73 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับกุ้งขาวที่ได้รับอาหารชนิดเดียวกันที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 10 พีพีที ซึ่งมีค่าสีแดง 7.25 ± 2.19 ส่วนค่าสีแดงในกุ้งขาวที่เลี้ยงความเค็ม 10 พีพีที และได้รับอาหารสูตรควบคุมมีค่า 3.49 ± 2.57 ซึ่งเป็นค่าสีที่ต่ำกว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม ซึ่งเลี้ยงในน้ำทะเลที่มีความเค็มต่างกันทั้ง 2 ระดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การวัดปริมาณการสะสมสารสีเหลืองในกุ้งทดลองพบว่ากุ้งขาวที่เลี้ยงในน้ำทะเลความเค็ม 30 พีพีที ด้วยอาหาร

ผสมเบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม มีค่า 16.54±1.50 ซึ่งสูงกว่าสารที่สะสมในกุ้งชุดการทดลองอื่นๆ ซึ่งมีค่าสีเหลืองอยู่ในช่วง 12.72±2.32 ถึง 13.43±1.76 อย่างมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 15)

การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสะสมในตัวกุ้งขาวที่ได้รับอาหารชนิดเดียวกันแต่เลี้ยงในน้ำทะเลความเค็มต่างกันนาน 4 สัปดาห์ พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสะสมมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) แต่พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสะสมในกุ้งชุดที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุมมีค่าต่ำกว่าชุดที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม อย่างมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งชุดการทดลองที่เลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเค็ม 10 และ 30 พีพีที โดยกุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม และอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม และเลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเค็ม 10 พีพีที มีปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสะสมในตัว 20.08±0.58 และ 55.28±0.28 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในขณะที่ชุดที่เลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเค็ม 30 พีพีที มีปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสะสม 17.13±0.83 และ 52.17±1.06 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสะสมในกุ้งที่เลี้ยงในสภาวะแวดล้อมดังกล่าวนาน 8 สัปดาห์ พบว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม และเลี้ยงที่ความเค็ม 30 พีพีที มีปริมาณแคโรทีนอยด์สะสมในตัวสูงสุด โดยมีค่า 50.46±1.11 พีพีเอ็ม และในอาหารชนิดเดียวกันแต่เลี้ยงที่ความเค็ม 10 พีพีที มีค่ารองลงมาคือ 48.34±0.82 พีพีเอ็ม ส่วนกุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมและในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 10 และ 30 พีพีที มีปริมาณแคโรทีนอยด์สะสมในตัว 8.76±0.90 และ 13.14±0.57 พีพีเอ็ม ตามลำดับ โดยผลการวิเคราะห์พบค่าดังกล่าวในกุ้งแต่ละละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 15 ค่าสีตัวกุ้งขาว (L, a, b) จากการวัดโดยใช้เครื่องคัลเลอร์มิเตอร์หลังจากกุ้งทดลองได้รับอาหารทดลองผสมและไม่ผสมสารสีและเลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์*

ชุดการทดลอง	ความสว่างของสีตัว (L)	ระดับสีแดง (a)	ระดับสีเหลือง (b)
ควบคุม (10 พีพีที)	61.67 ± 2.44 ^{a}	3.49 ± 2.57^{a}	12.79 ± 2.56^{a}
เบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม (10 พีพีที)	60.79 ± 1.48 ^{a}	7.25 ± 2.19^{bc}	13.43 ± 1.76^{a}
ควบคุม (30 พีพีที)	61.45 ± 2.03 ^{a}	4.32 ± 3.08^{ab}	12.72 ± 2.32^{a}
เบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม (30 พีพีที)	60.63 ± 1.26 ^{a}	9.67 ± 1.73^{c}	16.54 ± 1.50^{b}

*ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 16 ปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสะสมในกุ้งขาวที่ได้รับอาหารทดลองผสมและไม่ผสมสารสีและเลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มต่างกันนาน 4 และ 8 สัปดาห์*

ชุดการทดลอง	ปริมาณแคโรทีนอยด์รวม (พีพีเอ็ม)	
	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 8
ควบคุม (10 พีพีที)	20.08 ± 0.58[a]	8.76 ± 0.90[b]
เบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม (10 พีพีที)	55.28 ± 0.28[b]	48.34 ± 0.82[c]
ควบคุม (30 พีพีที)	17.13 ± 0.83[a]	13.14 ± 0.57[a]
เบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม (30 พีพีที)	52.17 ± 1.06[b]	50.46 ± 1.11[d]

* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ข้อมูล 4 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.5 องค์ประกอบเลือด

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเลือดบางประการของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหาร 2 สูตร ในสภาวะการเลี้ยงที่ใช้น้ำทะเลที่มีระดับความเค็มต่างกันนาน 4 สัปดาห์ พบว่ากุ้งขาวทุกชุดการทดลองมีปริมาณเม็ดเลือดรวมไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 24.50±6.00 ถึง 31.90±6.00 เซลล์ต่อมิลลิลิตร แต่เมื่อเลี้ยงต่อจนครบ 8 สัปดาห์ พบว่ากุ้งขาวที่เลี้ยงในน้ำเค็ม 30 พีพีที ด้วยอาหารสูตรควบคุมมีปริมาณเม็ดเลือดรวม 31.00±14.40 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ซึ่งสูงกว่ากุ้งขาวในชุดการทดลองอื่นแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเทียบกับกุ้งที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม และเลี้ยงในน้ำทะเลที่มีระดับความเค็มเดียวกันซึ่งมีปริมาณเม็ดเลือดรวม 29.50±12.80 เซลล์ต่อมิลลิลิตร แต่พบค่าดังกล่าวมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับกุ้งที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 10 พีพีที ทั้งชุดที่ให้อาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ และไม่ผสมสารสีในชุดควบคุม โดยกุ้งที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมมีปริมาณเม็ดเลือดรวม 12.50±11.60 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และปริมาณเม็ดเลือดรวมมีค่า 20.40±8.09 เซลล์ต่อมิลลิลิตร เมื่อได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าองค์ประกอบเลือดดังกล่าวระหว่างกุ้งขาวที่เลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเค็มเดียวกันแต่ได้รับอาหารทดลองต่างกัน พบค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 17)

ผลการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดสในเม็ดเลือดกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองต่างกัน 2 สูตร ในสภาวะที่น้ำมีความเค็มต่างกันเป็นเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดสในเม็ดเลือดกุ้งขาวทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อยู่ในช่วง 417.24±379.20 ถึง 543.44±168.73 ยูนิต/นาที/มก.โปรตีน (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 17 ปริมาณเม็ดเลือดรวมและกิจกรรมของเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดสในเม็ดเลือดกุ้งขาวที่ได้รับอาหารทดลองผสมและไม่ผสมสารสีและเลี้ยงในน้ำทะเลที่มีความเค็มต่างกันนาน 4 และ 8 สัปดาห์*

ชุดการทดลอง	ปริมาณเม็ดเลือดรวม ($x10^6$ เซลล์/มล.)		กิจกรรมของเอนไซม์ ฟีนอลออกซิเดส (ยูนิต/นาที/มก. โปรตีน)	
	4 สัปดาห์	8 สัปดาห์	4 สัปดาห์	8 สัปดาห์
ควบคุม (10 พีพีที)	30.00 ± 9.00 [a]	12.50 ± 11.60 [a]	543.44 ± 168.73 [a]	837.75 ± 422.79 [a]
เบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม (10 พีพีที)	24.50 ± 6.00 [a]	20.40 ± 8.09 [ab]	388.82 ± 280.30 [a]	1001.09 ± 592.06 [a]
ควบคุม (30 พีพีที)	28.5 ± 10.00 [a]	31.00 ± 14.40 [c]	528.73 ± 261.70 [a]	670.75 ± 352.82 [a]
เบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม (30 พีพีที)	31.90 ± 6.00 [a]	29.50 ± 12.80 [bc]	417.24 ± 379.20 [a]	749.90 ± 415.18 [a]

* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.6 การทดสอบความสามารถในการต้านทานความเครียด

ผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานความเครียดของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง 2 สูตร ในน้ำทะเลที่มีระดับความเค็ม 10 และ 30 พีพีที นาน 8 สัปดาห์ หลังนำมาทดสอบความสามารถในการต้านทานความเครียด โดยการเปลี่ยนแปลงความเค็มสลับไปมาวันเว้นวัน จากสภาวะความเค็มที่เลี้ยงอยู่เดิมร่วมกับการลดปริมาณออกซิเจนในน้ำที่ใช้เลี้ยงให้ต่ำลงกว่าค่าปกติในแต่ละชุดการทดลองนานวันละ 5 ชั่วโมง ติดต่อกัน 168 ชั่วโมง พบว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารเสริมเบตาแคโรทีนมีการรอดตายสูงกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารควบคุมหลังจากได้รับสภาวะความเครียดนาน 168 ชั่วโมง ($p<0.05$) (ตารางที่ 18)

เมื่อพิจารณาปริมาณแคโรทีนอยด์รวมที่สะสมในตัวกุ้งขาวหลังสิ้นสุดการทดสอบความเครียด พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สะสมในตัวกุ้งแต่ละชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยกุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมและเลี้ยงในน้ำทะเลความเค็ม 10 พีพีที มีปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสะสมในตัวต่ำสุด รองลงมาได้แก่กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารควบคุมในสภาวะความเค็มสูง 30 พีพีที กุ้งที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม เลี้ยงในน้ำทะเลความเค็ม 10 พีพีที และชุดที่ได้รับอาหารสูตรเดียวกันแต่เลี้ยงในสภาวะน้ำที่มีระดับความเค็ม 30 พีพีที ตามลำดับ (ตารางที่ 19) การเลี้ยงกุ้งที่ระดับความเค็ม 30 พีพีที มีแนวโน้มให้กุ้งเกิดการสะสมแคโรทีนอยด์ในตัวลดลงเมื่อเผชิญกับสภาพความเครียดจากการลดความเค็ม ในขณะที่การเลี้ยงในความเค็ม 10 พีพีที การสะสมแคโรทีนอยด์ในตัวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเผชิญกับสภาพเครียด

ตารางที่ 18 อัตรารอดตายของกุ้งที่กินอาหารแตกต่างกัน 8 สัปดาห์ และทำให้เกิดความเครียดเป็นเวลา 7 วัน

ชุดการทดลอง		อัตราการรอดตาย (%)			
		เริ่มต้น	ชม.ที่ 24	ชม.ที่ 48	ชม.ที่ 72
ควบคุม (10 พีพีที)	ควบคุม	100 ± 0.00	100 ± 0.00 ^{ns}	100 ± 0.00 ^{ns}	100 ± 0.00 ^{c}
	ทำให้เครียด	100 ± 0.00	88.89 ± 9.62 ^{ns}	88.89 ± 9.62 ^{ns}	77.78 ± 19.24 ^{ab}
เบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม (10 พีพีที)	ควบคุม	100 ± 0.00	100 ± 0.00 ^{ns}	94.44 ± 9.62 ^{ns}	94.44 ± 9.62 ^{bc}
	ทำให้เครียด	100 ± 0.00	94.44 ± 9.62 ^{ns}	88.89 ± 9.62 ^{ns}	83.33 ± 16.67 ^{abc}
ควบคุม (30 พีพีที)	ควบคุม	100 ± 0.00	100 ± 0.00 ^{ns}	100 ± 0.00 ^{ns}	100 ± 0.00 ^{c}
	ทำให้เครียด	100 ± 0.00	94.44 ± 9.62 ^{ns}	88.89 ± 9.62 ^{ns}	72.22 ± 9.62 ^{a}
เบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม (30 พีพีที)	ควบคุม	100 ± 0.00	100 ± 0.00 ^{ns}	100 ± 0.00 ^{ns}	100 ± 0.00 ^{c}
	ทำให้เครียด	100 ± 0.00	94.44 ± 9.62 ^{ns}	94.44 ± 9.62 ^{ns}	94.44 ± 9.62 ^{bc}

* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษร abc เหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่าง ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 18 (ต่อ)

ชุดการทดลอง		อัตราการรอดตาย (%)			
		ชม.ที่ 96	ชม.ที่ 120	ชม.ที่ 144	ชม.ที่ 168
ควบคุม (10 พีพีที)	ควบคุม	100 ± 0.00 ^{c}	100 ± 0.00 ^{d}	100 ± 0.00 ^{c}	100 ± 0.00 ^{d}
	ทำให้เครียด	61.11 ± 9.62 ^{a}	55.56 ± 9.62 ^{a}	44.44 ± 19.25 ^{a}	44.44 ± 19.25 ^{b}
เบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม (10 พีพีที)	ควบคุม	94.44 ± 9.62 ^{c}	94.44 ± 9.62 ^{d}	94.44 ± 9.62 ^{c}	88.89 ± 19.24 ^{d}
	ทำให้เครียด	83.33 ± 16.67 ^{bc}	77.78 ± 9.62 ^{c}	72.22 ± 9.62 ^{b}	66.67 ± 16.67 ^{bc}
ควบคุม (30 พีพีที)	ควบคุม	100 ± 0.00 ^{c}	100 ± 0.00 ^{d}	100 ± 0.00 ^{c}	94.44 ± 9.62 ^{cd}
	ทำให้เครียด	66.67 ± 16.67 ^{ab}	61.11 ± 9.62 ^{ab}	61.11 ± 9.62 ^{ab}	16.67 ± 28.87 ^{a}
เบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม (30 พีพีที)	ควบคุม	100 ± 0.00 ^{c}	88.89 ± 9.62 ^{d}	72.22 ± 9.62 ^{b}	72.22 ± 9.62 ^{ay}
	ทำให้เครียด	94.44 ± 9.62 ^{c}	72.23 ± 9.62 ^{bc}	72.23 ± 9.62 ^{b}	50.00 ± 0.00 ^{b}

* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษร abc เหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่าง ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 19 ปริมาณแคโรทีนอยด์รวมในกุ้งขาวที่ได้รับอาหารแตกต่างกันเป็นเวลา 8 สัปดาห์ หลังทำให้เกิดความเครียด 7 วัน*

ชุดการทดลอง		ปริมาณแคโรทีนอยด์ (พีพีเอ็ม)
ควบคุม (10 พีพีที)	ควบคุม	11.21 ± 0.27^{a}
	ทำให้เครียด	11.57 ± 1.12^{a}
เบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม (10 พีพีที)	ควบคุม	46.42 ± 0.83^{c}
	ทำให้เครียด	51.76 ± 0.49^{e}
ควบคุม (30 พีพีที)	ควบคุม	16.52 ± 1.13^{b}
	ทำให้เครียด	16.09 ± 1.12^{b}
เบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม (30 พีพีที)	ควบคุม	57.79 ± 0.97^{f}
	ทำให้เครียด	49.05 ± 0.46^{d}

*ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. การทดลองที่ 3: ผลของเบตาแคโรทีนต่อการต้านทานความเครียดในกุ้งขาว

3.1 การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตาย

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของกุ้งขาวที่ได้รับอาหารทดลองที่ไม่ผสมสารสีหรือผสมสารสีในระดับต่างๆ กัน 3 ระดับเป็นเวลา 8 สัปดาห์ (ตารางที่ 20) พบว่ากุ้งที่ได้รับอาหารทดลองต่างกันมีการเจริญเติบโตไม่ต่างกันเมื่อพิจารณาจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ปัจจัยระหว่างความเข้มข้นที่แตกต่างกันของเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ในอาหารกับปัจจัยความเครียดและไม่ได้รับความเครียดที่กุ้งแต่ละชุดการทดลอง พบว่าระดับความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์และปัจจัยของความเครียดไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาว ($p>0.05$) นอกจากนั้นยังไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเบตาแคโรทีนแต่ละชุดการทดลองและความเครียด ($p>0.05$)

3.2 อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน

อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (ตารางที่ 21) ในกุ้งขาวทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ชุดการทดลองความเครียดและความสัมพันธ์ระหว่างชุดการทดลองและความเครียดไม่ทำให้อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนเปลี่ยนแปลง ($p>0.05$)

3.3 องค์ประกอบทางเคมีของกุ้ง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาการของกุ้งทั้งตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลองแสดงในตาราง 22 ในกุ้งขาวที่ได้รับผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 1,000 พีพีเอ็ม มีปริมาณโปรตีนสูงสุดแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับทุกชุดการทดลอง ความเครียดเพียงอย่างเดียวและความความสัมพันธ์ระหว่างชุดการทดลองและความเครียดไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนในตัวกุ้ง ปริมาณความชื้นที่สะสมในตัวกุ้งไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับทุกชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองความเครียดและความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้ง 2 อย่าง ไม่ทำให้ปริมาณความชื้นมีการเปลี่ยนแปลง ($p>0.05$) ในทุกชุดการทดลอง

ปริมาณไขมันในกุ้งที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม มีปริมาณไขมันสะสมในตัวต่ำสุดและแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับทุกชุดการทดลอง และความสัมพันธ์ระหว่างชุดการทดลองและความเครียดทำให้ปริมาณไขมันที่สะสมในตัวเปลี่ยนแปลง ($p<0.05$)โดยกุ้งที่ได้รับความเครียดจะมีปริมาณไขมันลดลง ส่วนปริมาณเถ้าในกุ้งที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมและเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 50 พีพีเอ็ม มีค่าต่ำกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ความเครียดเพียงอย่างเดียวไม่ทำให้ปริมาณเถ้าเปลี่ยนแปลง ($p>0.05$) แต่ความสัมพันธ์ระหว่างชุดการทดลองและความเครียดทำให้ปริมาณเถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลง ($p<0.05$)

3.4 การเปลี่ยนแปลงของสีตัวและปริมาณแคโรทีนอยด์สะสมในกุ้งขาว

ค่าสีตัวของกุ้งขาวทุกชุดการทดลองเมื่อเทียบกับพัดสี แสดงในภาพที่ 10-11 และตารางที่ 23 โดยในกุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมและเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 50 พีพีเอ็ม ทั้งที่ไม่ได้รับความเครียดและได้รับความเครียดมีค่าสีอยู่ในช่วง 19 ถึง 20 ส่วนกุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมและเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 500 พีพีเอ็ม ทั้ง 2 ชุด มีค่าสีอยู่ในช่วง 20 ถึง 21 และเพิ่มเป็น 21 ถึง 22 ในกุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 1,000 พีพีเอ็ม ทั้ง 2 ชุดการทดลอง

ส่วนค่าสีที่วัดด้วยเครื่องคัลเลอร์มิเตอร์ ในกุ้งขาวแสดงในตาราง 24 กุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ทุกระดับ มีค่าความสว่างของสีตัวกุ้งไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างชุดที่ได้รับความเครียดและไม่ได้รับความเครียด ปัจจัยจากชุดการทดลองและความเครียดเพียงอย่างเดียวไม่มีผลต่อค่าความสว่างของสีตัว แต่ความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้ง 2 ทำให้ค่าความสว่างของสีตัวเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยมีค่าเพิ่มขึ้นในกุ้งที่ได้รับความเครียด

ค่าสีแดงในกุ้งขาวที่ได้รับอาหารทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนค่าสีเหลืองสูงสุดพบในกุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม แต่ความเครียดเพียงอย่างเดียวหรือความสัมพันธ์ระหว่างชุดการทดลองและความเครียด ไม่ทำให้ค่าสีแดงและสีเหลืองเกิดการเปลี่ยนแปลง ($p>0.05$)

ปริมาณแคโรทีนอยด์สะสมในตัวกุ้งขาวที่ 4 และ 8 สัปดาห์ แสดงในตาราง 25 ในสัปดาห์ที่ 4 และ 8 กุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 500 พีพีเอ็ม มีปริมาณแคโรทีนอยด์สะสมในตัวสูงสุด รองลงมาได้แก่กุ้งที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีน 1,000 พีพีเอ็ม 50 พีพีเอ็ม และสูตรควบคุม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทุกชุดการทดลอง ความเครียดเพียงอย่างเดียวและความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเบตาแคโรทีนสังเคราะห์กับความเครียด ส่งผลให้กุ้งขาวมีปริมาณแคโรทีนอยด์สะสมในตัวต่ำกว่ากุ้งขาวที่ไม่ได้รับความเครียด ($p<0.05$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.5 องค์ประกอบเลือดกุ้ง

ปริมาณเม็ดเลือดรวม และกิจกรรมของเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดส (ตารางที่ 26) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ทุกชุดการทดลอง ความเข้มข้นของเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ ความเครียด และความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้ง 2 ไม่มีผลต่อปริมาณเม็ดเลือดรวมและกิจกรรมของเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดส

ตารางที่ 20 น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของกุ้งขาว*

ชุดการทดลอง		น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย (g)	น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (%)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (% วัน)	อัตรารอดตาย (%)
ควบคุม (10 พีพีที)	ควบคุม	8.67 ± 0.45	347.54 ± 24.75	2.18 ± 0.02	93 ± 10.61
	ทำให้เครียด	8.44 ± 0.08	339.44 ± 4.10	2.18 ± 0.02	95 ± 0.00
เบตาแคโรทีน 50 พีพีเอ็ม	ควบคุม	9.42 ± 1.19	376.42 ± 52.74	2.36 ± 0.25	90 ± 0.00
	ทำให้เครียด	9.50 ± 0.49	380.79 ± 20.92	2.39 ± 0.10	95 ± 7.70
เบตาแคโรทีน 500 พีพีเอ็ม	ควบคุม	8.68 ± 0.10	352.14 ± 5.03	2.25 ± 0.03	98 ± 3.54
	ทำให้เครียด	9.71 ± 0.02	388.99 ± 2.46	2.43 ± 0.01	90 ± 7.07
เบตาแคโรทีน 1,000 พีพีเอ็ม	ควบคุม	9.56 ± 0.64	382.93 ± 24.71	2.40 ± 0.12	90 ± 7.07
	ทำให้เครียด	8.49 ± 0.18	341.03 ± 11.26	2.19 ± 0.06	88 ± 3.54

* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 21 อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน*

ชุดการทดลอง		อัตราการกินอาหาร (% / ตัว / วัน)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน
ควบคุม (10 พีพีที)	ควบคุม	27.43 ± 16.50	2.22 ± 0.13	1.12 ± 0.10
	ทำให้เครียด	34.05 ± 3.86	2.18 ± 0.02	1.28 ± 0.12
เบตาแคโรทีน 50 พีพีเอ็ม	ควบคุม	33.30 ± 2.82	2.36 ± 0.25	1.35 ± 0.14
	ทำให้เครียด	33.39 ± 1.02	2.39 ± 0.10	1.43 ± 0.19
เบตาแคโรทีน 500 พีพีเอ็ม	ควบคุม	35.46 ± 0.56	2.25 ± 0.03	1.27 ± 0.00
	ทำให้เครียด	32.82 ± 0.42	2.43 ± 0.01	1.37 ± 0.10
เบตาแคโรทีน 1,000 พีพีเอ็ม	ควบคุม	32.96 ± 0.85	2.40 ± 0.12	1.45 ± 0.17
	ทำให้เครียด	36.82 ± 2.45	2.19 ± 0.0 6	1.12 ± 0.18

* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

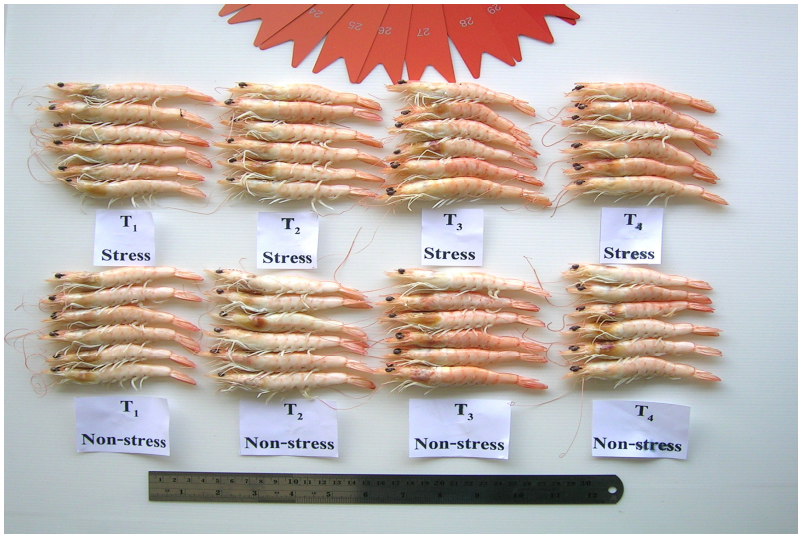
ตารางที่ 22 องค์ประกอบทางโภชนาการของกุ้งทั้งตัวที่ได้รับอาหารแตกต่างกันเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ชุดการทดลอง		ความชื้น (%)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เถ้า (%)
ควบคุม	ควบคุม	76.74 ± 1.58^{ns}	71.56 ± 1.01^{a}	5.54 ± 0.89^{a}	9.43 ± 0.1^{c}
	ทำให้เครียด	75.80 ± 2.69^{ns}	71.63 ± 0.99^{a}	5.23 ± 0.86^{ab}	9.48 ± 0.19^{c}
เบตาแคโรทีน 50 พีพีเอ็ม	ควบคุม	76.62 ± 1.17^{ns}	71.47 ± 0.84^{a}	7.09 ± 0.03^{de}	9.50 ± 0.19^{c}
	ทำให้เครียด	75.43 ± 2.17^{ns}	71.08 ± 2.37^{a}	6.11 ± 0.11^{ab}	9.28 ± 0.09^{bc}
เบตาแคโรทีน 500 พีพีเอ็ม	ควบคุม	75.58 ± 1.17^{ns}	70.56 ± 0.41^{a}	6.34 ± 0.45^{bcd}	8.84 ± 0.06^{a}
	ทำให้เครียด	75.48 ± 2.32^{ns}	70.66 ± 1.43^{a}	7.43 ± 0.25^{e}	9.35 ± 0.17^{c}
เบตาแคโรทีน 1,000 พีพีเอ็ม	ควบคุม	75.58 ± 2.97^{ns}	75.30 ± 2.44^{b}	6.99 ± 0.16^{cde}	9.27 ± 0.17^{bc}
	ทำให้เครียด	76.02 ± 2.97^{ns}	75.26 ± 2.03^{b}	6.02 ± 0.51^{ab}	9.08 ± 0.07^{ab}

* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ภาพที่ 10 กุ้งขาวก่อนต้มที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์เข้มข้น 0, 50, 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 8 สัปดาห์แล้วให้ความเครียด



ภาพที่ 11 กุ้งขาวหลังต้มที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์เข้มข้น 0, 50, 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 8 สัปดาห์ แล้วทดสอบความต้านทานต่อความเครียดโดยการเปลี่ยนแปลงระดับความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงนาน 7 วัน

ตารางที่ 23 ปริมาณสีเมื่อเทียบกับพัดสี (Salmo fan) ของกุ้งขาวที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	ปริมาณสี	
	ควบคุม	ทำให้เครียด
ควบคุม	19-20	19-20
เบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 50 พีพีเอ็ม	19-20	19-20
เบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 500 พีพีเอ็ม	20-21	20-21
เบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 1,000 พีพีเอ็ม	21-22	21-22

ตารางที่ 24 ค่าสี (L, a, b) ของกุ้งขาวที่ได้รับอาหารแตกต่างกันเป็นเวลา 8 สัปดาห์*

ชุดการทดลอง		ความสว่างของสีตัว (L)	ระดับสีแดง (a)	ระดับสีเหลือง (b)
ควบคุม	ควบคุม	55.29 ± 3.05 ^{ab}	4.76 ± 2.27 ^{ns}	13.19 ± 2.01 ^{ab}
	ทำให้เครียด	57.44 ± 1.95 ^{b}	5.56 ± 1.85 ^{ns}	15.08 ± 2.26 ^{ab}
เบตาแคโรทีน 50 พีพีเอ็ม	ควบคุม	54.59 ± 4.13 ^{ab}	3.29 ± 2.47 ^{ns}	11.31 ± 1.65 ^{a}
	ทำให้เครียด	55.02 ± 3.42 ^{ab}	3.58 ± 2.87 ^{ns}	12.32 ± 3.83 ^{ab}
เบตาแคโรทีน 500 พีพีเอ็ม	ควบคุม	55.99 ± 3.24 ^{ab}	5.54 ± 1.48 ^{ns}	14.02 ± 2.92 ^{ab}
	ทำให้เครียด	52.63 ± 3.14 ^{a}	5.09 ± 1.53 ^{ns}	13.75 ± 2.24 ^{ab}
เบตาแคโรทีน 1,000 พีพีเอ็ม	ควบคุม	53.86 ± 3.29 ^{ab}	4.11 ± 2.53 ^{ns}	11.22 ± 2.08 ^{a}
	ทำให้เครียด	56.73 ± 3.54 ^{b}	4.23 ± 2.64 ^{ns}	13.03 ± 2.54 ^{ab}

*ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 25 ปริมาณแคโรทีนอยด์รวมในกุ้งขาวที่ได้รับอาหารแตกต่างกันเป็นเวลา 4 และ 8 สัปดาห์*

ชุดการทดลอง	ทดสอบ	ปริมาณแคโรทีนอยด์รวม (พีพีเอ็ม)	
		4 สัปดาห์	8 สัปดาห์
ควบคุม	ควบคุม	36.03 ±1.76^{a}	40.22 ± 2.58^{b}
	ทำให้เครียด	38.89 ± 0.83^{b}	28.30 ± 1.21^{a}
เบตาแคโรทีน 50 พีพีเอ็ม	ควบคุม	66.41 ± 0.92^{c}	72.84 ± 2.13^{d}
	ทำให้เครียด	67.23 ± 0.75^{c}	55.00 ± 4.82^{c}
เบตาแคโรทีน 500 พีพีเอ็ม	ควบคุม	104.77 ± 1.15^{f}	109.58 ± 3.22^{f}
	ทำให้เครียด	105.31 ± 1.25^{f}	106.08 ± 3.54^{ef}
เบตาแคโรทีน 1,000 พีพีเอ็ม	ควบคุม	96.45 ± 1.85^{e}	104.20 ± 6.79^{ef}
	ทำให้เครียด	89.45 ± 4.87^{d}	101.87 ± 4.63^{e}

*ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเฉลี่ยมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 26 กิจกรรมของเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดสในเม็ดเลือดของกุ้งขาวที่ได้รับอาหารแตกต่างกันเป็นเวลา 8 สัปดาห์*

ชุดการทดลอง		ปริมาณเม็ดเลือดรวม ($x10^6$ เซลล์ / มล.)	PO activity (ยูนิต/นาที/มก.โปรตีน)
ควบคุม	ควบคุม	418.44 ± 281.18	25.90 ± 9.06
	ทำให้เครียด	465.87 ± 264.79	25.30 ± 13.20
เบตาแคโรทีน 50 พีพีเอ็ม	ควบคุม	360.12 ± 216.19	21.10 ± 8.80
	ทำให้เครียด	353.37 ± 128.25	24.70 ± 8.31
เบตาแคโรทีน 500 พีพีเอ็ม	ควบคุม	428.96 ± 168.29	28.60 ± 13.30
	ทำให้เครียด	434.14 ± 265.00	25.90 ± 9.40
เบตาแคโรทีน 1,000 พีพีเอ็ม	ควบคุม	573.04 ± 625.88	30.50 ± 13.10
	ทำให้เครียด	581.83 ± 293.90	27.30 ± 13.00

*ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเฉลี่ยมาตรฐาน
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%