บทที่ 3

การทดลองที่ 2. ศึกษาผลของความเค็มต่อการสะสมแคโรทีนอยด์ในกุ้งขาว

วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมสัตว์ทดลอง

เตรียมกุ้งขาวจากแหล่งเดียวกันกับการทดลองที่ 1นำมาเลี้ยงและคัดแยกกุ้งลงตู้กระจกขนาดความจุน้ำ 250 ลิตร ที่เติมน้ำทะเล 200 ลิตร จำนวน 24 ตู้ๆ ละ 30 ตัว แล้วเลี้ยงกุ้งด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปชุดควบคุมเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อให้กุ้งคุ้นเคยกับสภาพการเลี้ยงในตู้ทดลอง จึงทำการชั่งน้ำหนักกุ้งทุกตู้ก่อนเริ่มให้อาหารทดลองชุดต่างๆ

2.2 การเตรียมอาหารทดลอง

เตรียมอาหารทดลอง 4 สูตร ให้มีชนิดขององค์ประกอบอาหารตามรายละเอียดที่รายงานใน Boonyarapalin และคณะ (2001) โดยอาหารมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และพลังงานในอาหารใกล้เคียงกันทุกสูตร โดยให้อาหารสูตรที่ 1 และ 3 ไม่เติมเบตาแคโรทีน ส่วนอาหารสูตรที่ 2 และ 4 เติมเบตาแคโรทีน ตามรายละเอียดในตารางที่ 2 เมื่อเตรียมอาหารเสร็จจึงทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารสูตรต่างๆ ตามรายละเอียดใน ตารางที่ 9

2.3 แผนการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบแฟคตอเรียล (factorial) โดยมี 4 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ 1 และ 2 เลี้ยงที่ความเค็ม 10 พีพีที ชุดการทดลองที่ 3 และ 4 เลี้ยงที่ความเค็ม 30 พีพีที แต่ละชุดการทดลองประกอบด้วยตู้ทดลอง 6 ซ้ำ ให้อาหารแก่กุ้งทดลอง วันละ 4 มื้อ โดยให้จนอิ่มตลอดระยะเวลาการเลี้ยง จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ได้แก่ การเจริญเติบโต วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในกุ้งทดลองทั้งตัว วัดการเปลี่ยนแปลงของสีตัว กุ้งขาว และศึกษาองค์ประกอบเลือด โดยใช้วิธีการเดียวกับการทดลองที่ 1 และเมื่อเลี้ยงกุ้งชุดดังกล่าวครบ 8 สัปดาห์ แบ่งกุ้งส่วนหนึ่งจากแต่ละชุดไปทดสอบความเครียด โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลแบบ 4x3x2 ซึ่งประกอบด้วย 24 หน่วยทดลอง โดยมีปัจจัยที่ทดลองคือผลของความเค็มและ

ปริมาณสารสีในอาหาร ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's multiple range test (DMRT)

ตารางที่ 9 อาหารทดลองผสมและไม่ผสมเบตาแคโรทีนสำหรับเลี้ยงกุ้งขาว และผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะของอาหารทดลองสูตรต่างๆ

ส่วนประกอบอาหาร	สูตรอาหาร			
(กรัม / 100 กรัม)	1	2	3	4
ปลาป่น	28	28	28	28
หมึกป่น	15	15	15	15
กากถั่วเหลือง	10	10	10	10
แป้งสาลี	20	20	20	20
แป้งข้าวเจ้า	9.93	9.83	9.93	9.83
วีทกลูเตน	6	6	6	2
เลซิติน	2	2	2	2
น้ำมันปลา	2	2	2	0.15
วิตามินรวม*	0.15	0.15	0.15	0.15
วิตามินซี	0.1	0.1	0.1	0.1
แร่ธาตุรวม**	4	4	4	4
โคลีนคลอไรด์	0.3	0.3	0.3	0.3
โคเลสเตอรอล	1	1	1	1
ซีโอไลท์	1.5	1.5	1.5	1.5
BHT	0.02	0.02	0.02	0.02
เบตาแคโรทีน	0^{1}	0.01^{2}	0^{1}	0.01^{2}
โปรตีน (%)	42.01 ± 1.13	42.76 ± 4.59	42.01 ± 1.13	42.76 ± 4.59
ไขมัน (%)	9.11 ± 1.22	9.45 ± 2.27	9.11 ± 1.22	9.45 ± 2.27
เถ้า (%)	8.02 ± 0.42	8.08 ± 0.20	8.83 ± 0.11	8.21 ± 0.05
พลังงาน (กิโลแคลอรี / อาหาร 100 กรัม)	325.99 ± 6.67	329.57 ± 4.30	325.99 ± 6.67	329.57 ± 4.30
แคโรทีนอยด์รวม (มก/กก)	00.00 ± 0.00	81.86 ± 2.62	00.00 ± 0.00	81.86 ± 2.62

หมายเหตุ [1] = ไม่เติมแคโรทีนอยด์

[2] = เติมเบตาแคโรทีน (อาหารสูตรที่ 2 และ 4 เตรียมร่วมกันทำให้ปริมาณสารสีเท่ากัน)

* Vitamin / kg diet: Thiamine (B_1) 10 mg ; Riboflavin (B_2) 20 mg ; Pyridoxine (B_6) 10 mg; Cobalamin (B_{12}) 2 mg; Retinal (A) 4 mg; Cholecalciferol (D_3) 0.4 mg; Phylloquinone (K_1) 80 mg; Folic acid 5 mg; Calcium pantothenate 40 mg; Inositol 400 mg; Niacin 150 mg; Tocopherol (E) 60 mg; Choline 6,000 mg; Ascorbic acid (C) 500 mg

** Mineral/ kg diet: NaCl 0.25 g; $MgSO_4$ 3.75 g; KH_2PO_4 8 g; $Ca(H_2PO_4)$ 5 g; $FeSO_4$ 0.72 g; $(CH_3COO)_2Ca.5H_2O$ 0.88 g; $ZnSO_4.7H_2O$ 0.088 g; $MnSO_4.4H_2O$ 0.040 g; $CuSO_4.5H_2O$ 0.008 g; $CoCl_2.6H_2O$ 0.00025 g; $KIO_3.6H_2O$ 0.00075 g

2.4 การทดสอบความต้านทานต่อความเครียด

นำตัวอย่างกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง 4 สูตร ครบ 8 สัปดาห์ มาชุดการทดลองละ 36 ตัว แบ่งกุ้งทดลองแต่ละชุดออกเป็น 6 ส่วนๆ ละ 6 ตัว เพื่อทดสอบความต้านทานต่อความเครียดในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงความเค็มและปริมาณออกซิเจนของน้ำที่ใช้เลี้ยง โดยกำหนดมีหน่วยทดลองจากแต่ละชุดการทดลองอยู่ในน้ำเลี้ยงสภาวะเดิมเป็นชุดควบคุม 3 ซ้ำ (12 หน่วยทดลอง) และหน่วยทดลองจากแต่ละชุดการทดลองที่ทำให้เกิดความเครียดชุดละ 3 ซ้ำ (12 หน่วยทดลอง) โดยทำการเปลี่ยนแปลงระดับความเค็มของน้ำจาก 5 พีพีที เป็น 30 พีพีที สำหรับชุดที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 10 พีพีที และเปลี่ยนแปลงระดับความเค็มของน้ำจาก 30 พีพีที เป็น 5 พีพีที สำหรับชุดที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 30 พีพีที สลับกันวันเว้นวัน โดยน้ำที่ใช้เปลี่ยนในแต่ละวันมีค่าการละลายของออกซิเจน 0.5 ถึง 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และให้กุ้งอยู่ในสภาวะออกซิเจนต่ำวันละ 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงเติมออกซิเจนให้เกินพอ บันทึกอัตราการตายทุก 6 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 วัน จึงเก็บตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์แคโรทีนอยด์รวม โดยใช้วิธีการเดียวกับการทดลองที่ 1

ผลการทดลองที่ 2

2.1 ผลการเจริญเติบโตและอัตรารอดตาย

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเริ่มต้นของกุ้งขาวในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่ากุ้งขาวชุดควบคุมและชุดการทดลองที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม ทั้งชุดที่เลี้ยงที่ความเค็ม 10 พีพีที และ 30 พีพีที มีค่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยกุ้งชุดที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็ม 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 กุ้งขาวที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 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 พบว่ากุ้งขาวที่เลี้ยงในน้ำทะเลความเค็ม 30 พีพีที และได้รับอาหารสูตรควบคุมมีการเจริญเติบโตสูงสุด โดยมีค่าร้อยละของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 562.65±82.79 และมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 3.37±0.21 ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติกับกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมและไม่ผสมแคโรทีนอยด์ แล้วเลี้ยงในน้ำที่มีความเค็ม 10 พีพีที อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ตารางที่ 10)

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 10)

ตารางที่ 10 น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการรอดตายของกุ้งขาว*

ชุดการทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซนต์)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซนต์/ 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 และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของกุ้งขาวที่ได้รับอาหารและเลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเค็มต่างกัน พบว่ากุ้งขาวที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็ม 10 หรือ 30 พีพีที และได้รับอาหารสูตรควบคุมซึ่ง ไม่ผสมเบตาแคโรทีนมีอัตราการกินอาหาร 32.85±2.29 และ 29.03±1.62 เปอร์เซ็นต์ต่อวันตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม ที่ระดับความเค็มเดียวกันซึ่งมีค่า 29.03±1.62 และ 28.87±0.44 เปอร์เซ็นต์ต่อวันตามลำดับ (ตารางที่ 11)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของกุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมและอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม เมื่อเลี้ยงในน้ำทะเลที่มีระดับความเค็มเดียวกันพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) แต่เมื่อพิจารณากุ้งชุดที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่มีระดับความเค็มแตกต่างกัน พบว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมและผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 100 พีพีเอ็ม เลี้ยงในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 10 พีพีที มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 2.36±0.33 และ 2.18±0.22 ซึ่งสูงกว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารทั้ง 2 สูตรแต่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็ม 30 พีพีที ที่มีค่าดังกล่าว 1.63±0.18 และ 1.71±0.18 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เช่นเดียวกับประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของกุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมและผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ พบไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเลี้ยงในสภาวะที่น้ำมีความเค็มเท่ากัน แต่พบว่าค่าดังกล่าวมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างชุดที่เลี้ยงในระดับความเค็มต่างกัน โดยพบชุดที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็ม 10 พีพีที โดยมีค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน 1.14±0.16 และ 1.31±0.13 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าชุดที่เลี้ยงน้ำที่มีความเค็ม 3 พีพีที ที่มีค่า 1.66±0.21 และ 1.49±0.16 ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน*

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

* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.3 ความชื้นและองค์ประกอบทางเคมีของกุ้ง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกุ้งทั้งตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปริมาณไขมันและความชื้นในกุ้งขาวทั้งตัวในแต่ละชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) โดยปริมาณไขมันมีค่าอยู่ในช่วง 5.58 ± 0.32 ถึง 6.74 ± 2.47 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นมีค่า 77.48 ± 1.44 ถึง 78.74 ± 0.67 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาณโปรตีนในกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม ในน้ำที่มีความเค็ม 10 พีพีที พบมีค่า 62.20 ± 5.0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าและมีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) กับกุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมที่เลี้ยงในน้ำที่ความเค็มต่างกันทั้งที่ระดับความเค็ม 10 และ 30 พีพีที ที่มีค่า 70.41 ± 2.01 และ 70.55 ± 3.80 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกุ้งขาวชุดที่ได้รับอาหารสูตรเดียวกันที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็ม 30 พีพีที ที่มีค่า 67.28 ± 4.53 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณเถ้าในกุ้งขาวชุดที่เลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเค็ม 30 พีพีที และได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม มีค่า 8.52 ± 0.31 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงกว่าและแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเบตาแคโรทีนระดับเดียวกันในน้ำที่มีความเค็ม 10 พีพีที และกุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมและเลี้ยงในน้ำทะเลความเค็ม 30 พีพีที ที่มีปริมาณเถ้าเฉลี่ย 7.29 ± 0.29 และ 6.64 ± 0.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับกุ้งทดลองที่ได้รับอาหารไม่ผสมแคโรทีนอยด์และเลี้ยงในน้ำที่มีความเค็ม 10 พีพีที ที่มีค่าเฉลี่ย 8.19 ± 0.18 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 12 องค์ประกอบทางโภชนาการของกุ้งทั้งตัวที่ได้รับอาหารแตกต่างกันเป็นเวลา 8 สัปดาห์ *

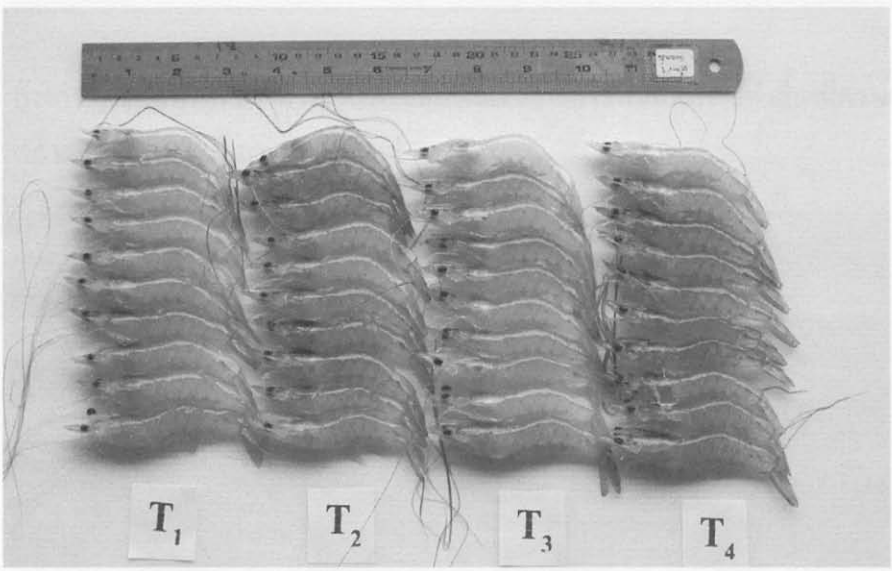
ชุดการทดลอง	ความชื้น (%)	ไขมัน (%)	โปรตีน (%)	เถ้า (%)
ควบคุม (10 พีพีที)	77.48 ± 1.44^{a}	5.58 ± 0.32^{a}	70.41 ± 2.01^{b}	8.19 ± 0.18^{c}
เบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม (10 พีพีที)	78.74 ± 0.67^{a}	5.85 ± 0.96^{a}	62.20 ± 5.0^{a}	7.29 ± 0.29^{b}
ควบคุม (30 พีพีที)	77.82 ± 1.02^{a}	6.74 ± 2.47^{a}	70.55 ± 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 $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

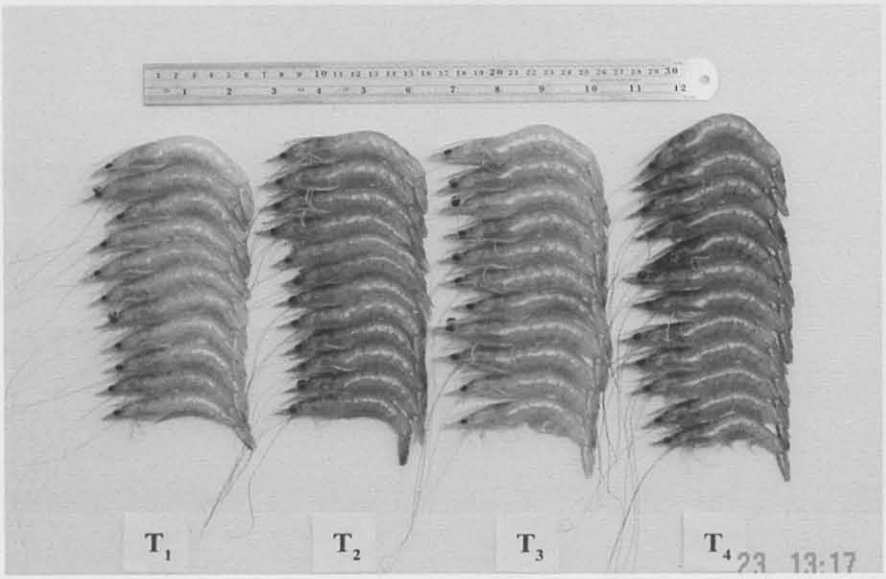
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.4 การเปลี่ยนแปลงของสีตัวและปริมาณแคโรทีนอยด์รวมในกุ้งขาว

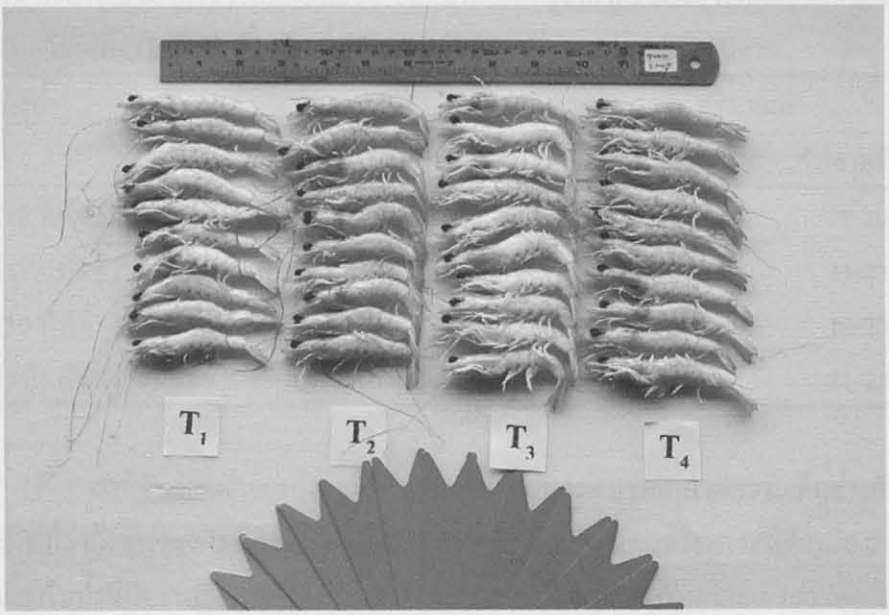
กุ้งขาวที่ได้รับอาหารและเลี้ยงที่ความเค็มแตกต่างกันเป็นเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ มีลักษณะสีก่อนต้มที่แตกต่างกันเล็กน้อยโดยกุ้งที่ได้รับอาหารผสมสารทั้งชุดที่เลี้ยงในน้ำความเค็มต่ำและสูงมีสีเข้มกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารชุดควบคุม (ภาพที่ 6-7) เมื่อนำกุ้งทั้ง 2 มาต้มและเทียบสีกับพัดสี พบว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมเป็นเวลา 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 13)



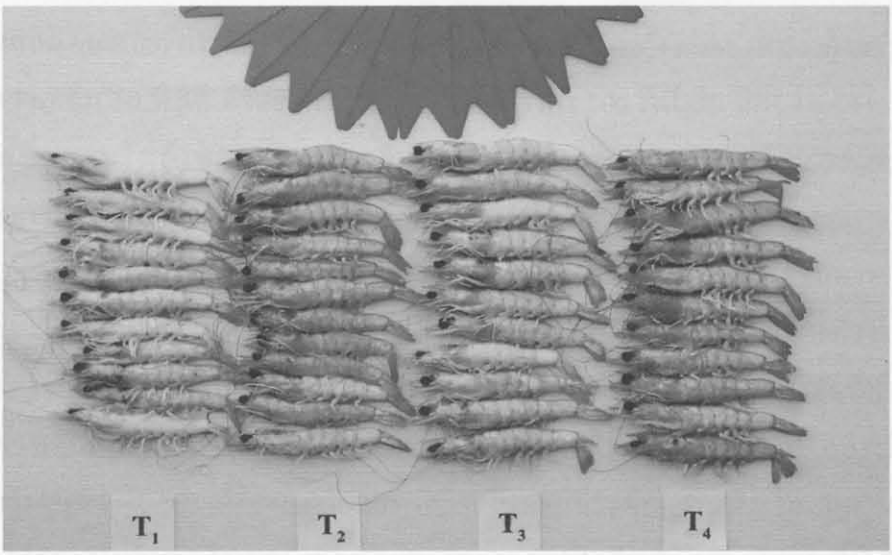
ภาพที่ 6 กุ้งขาวก่อนต้มที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม และเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ เลี้ยงที่ความเค็ม 10 และ 30 พีพีที เป็นเวลา 4 สัปดาห์



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 13 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 ($p>0.05$) โดยกุ้งขาวที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็ม 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 อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การวัดปริมาณการสะสมสารสีเหลืองในกุ้งทดลองพบว่ากุ้งขาวที่เลี้ยงในน้ำทะเลความเค็ม 30 พีพีที ด้วยอาหารผสมเบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม มีค่า 16.54±1.50 ซึ่งสูงกว่าสารสีที่สะสมในกุ้งชุดการทดลองอื่นๆ ซึ่งมีค่าสีเหลืองอยู่ในช่วง 12.72±2.32 ถึง 13.43±1.76 อย่างมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 14)

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 มีค่ารองลงมา คือ 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 15)

ตารางที่ 14 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 15 ปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสะสมในกุ้งขาวที่ได้รับอาหารทดลองผสมและไม่ผสมสารสี และเลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มต่างกันนาน 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 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น95%

2.5 องค์ประกอบเลือด

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเลือดบางประการของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหาร 2 สูตรในสภาวะการเลี้ยงที่ใช้น้ำทะเลที่มีระดับความเค็มต่างกันนาน 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 พีพีเอ็มและเลี้ยงในน้ำทะเลที่มีระดับความเค็มเดียวกัน ซึ่งมีปริมาณเม็ดเลือดรวม 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 16)

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 16)

ตารางที่ 16 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 $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.6 การทดสอบความสามารถในการต้านทานความเครียด

ผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานความเครียดของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง 2 สูตร ในน้ำทะเลที่มีระดับความเค็ม 10 และ 30 พีพีที นาน 8 สัปดาห์ หลังนำมาทดสอบความสามารถในการต้านทานความเครียดโดยการเปลี่ยนแปลงความเค็มสลับไปมาวันเว้นวันจากสภาวะความเค็มที่เลี้ยงอยู่เดิมร่วมกับการลดปริมาณออกซิเจนในน้ำที่ใช้เลี้ยงให้ต่ำลงกว่าค่าปกติในแต่ละชุดการทดลองนานวันละ 5 ชั่วโมง ติดต่อกัน 168 ชั่วโมง พบว่า กุ้งขาวที่ได้รับอาหารเสริมเบตาแคโรทีนมีการรอดตายสูงกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารควบคุมหลังจากได้รับสภาวะความเครียดนาน 168 ชั่วโมง ($p<0.05$) (ตารางที่ 17)

เมื่อพิจารณาปริมาณแคโรทีนอยด์รวมที่สะสมในตัวกุ้งขาวหลังสิ้นสุดการทดสอบความเครียด พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สะสมในตัวกุ้งแต่ละชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยกุ้งขาวที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมและเลี้ยงในน้ำทะเลความเค็ม 10 พีพีที มีปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสะสมในตัวต่ำสุด รองลงมาได้แก่กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารควบคุมในสภาวะความเค็มสูง 30 พีพีที กุ้งที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีน 100 พีพีเอ็ม เลี้ยงในน้ำทะเลความเค็ม 10 พีพีที และชุดที่ได้รับอาหารสูตรเดียวกันแต่เลี้ยงในสภาวะน้ำที่มีระดับความเค็ม 30 พีพีที ตามลำดับ (ตารางที่ 18) การเลี้ยงกุ้งที่ระดับความเค็ม 30 พีพีที มีแนวโน้มให้กุ้งเกิดการสะสมแคโรทีนอยด์ในตัวลดลง เมื่อเผชิญกับสภาพความเครียดจากการลดความเค็ม ในขณะที่การเลี้ยงในความเค็ม 10 พีพีที การสะสมแคโรทีนอยด์ในตัวไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) เมื่อเผชิญกับสภาพเครียด

ตารางที่ 17 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}
	Salinity stress*	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}
	Salinity stress*	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}
	Salinity stress**	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}
	Salinity stress**	100 ± 0.00	94.44 ± 9.62 ^{ns}	94.44 ± 9.62 ^{ns}	94.44 ± 9.62 ^{bc}

* salinity stress โดยปรับความเค็มจาก 10 ppt เป็น 30 ppt ** salinity stress โดยปรับความเค็มจาก 30 ppt เป็น 10 ppt

ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษร abc เหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่าง ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 17 (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}
	Salinity stress*	61.11 ± 9.62^{a}	55.56 ± 9.62^{a}	44.44 ± 19.25^{a}	$44.44 \pm 19.25^{}$
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}
	Salinity stress*	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}
	Salinity stress**	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}
	Salinity stress**	94.44 ± 9.62^{c}	72.23 ± 9.62^{bc}	72.23 ± 9.62^{b}	50.00 ± 0.00^{b}

* salinity stress โดยปรับความเค็มจาก 10 ppt เป็น 30 ppt ** salinity stress โดยปรับความเค็มจาก 30 ppt เป็น 10 ppt

ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษร abc เหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 18 ปริมาณแคโรทีนอยด์รวมในกุ้งขาวที่ได้รับอาหารแตกต่างกันเป็นเวลา 8 สัปดาห์ หลังทำให้เกิดความเครียด 7 วัน*

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

* salinity stress โดยปรับความเค็มจาก 10 ppt เป็น 30 ppt ** salinity stress โดยปรับความเค็มจาก 30 ppt เป็น 10 ppt
ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

วิจารณ์ผลการทดลองที่ 2

การศึกษาผลของความเค็มต่อประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากแคโรทีนอยด์ในอาหารของกุ้งขาว พบว่าที่ระดับความเค็มเดียวกันกุ้งชุดที่ได้รับอาหารผสมและไม่ผสมสารสีมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าแคโรทีนอยด์ในอาหารไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาว ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ 1 ที่พบว่าแคโรทีนอยด์จากแหล่งต่างๆ ทั้งจากการสังเคราะห์ และที่สกัดจากวัตถุดิบธรรมชาติไม่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของกุ้งขาวได้ อีกทั้งยังสอดคล้องกับหลายๆ รายงานก่อนหน้าที่พบว่าสารสีจากแหล่งต่างๆ ทั้งแอสตาแซนทีน เบตาแคโรทีน สารสกัดจากสาหร่ายสไปรูไลนา ดูนาเรลลา ยีสต์ และพืชที่ระดับความเข้มข้นต่างกันในอาหารไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำและกุ้งขาว (Arredondo-Figueroa *et al.*, 2003; Boonyaratpalin *et al.*, 1994; Boonyaratpalin *et al.*, 2001; Kittipreechakul, 2002; Pan *et al.*, 2001) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของกุ้งชุดที่เลี้ยงในน้ำทะเลความเค็มที่แตกต่างกัน พบว่ากุ้งขาวที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 30 พีพีที ทั้งชุดได้รับอาหารผสมและไม่ผสมเบตาแคโรทีน มีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารทดลองเดียวกันแต่เลี้ยงในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 10 พีพีที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าระดับความเข้มข้นของเกลือในน้ำมี

ผลต่อการเจริญเติบโตต่อกุ้งขาวอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่ากุ้งขาวที่เลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเค็ม 30 พีพีที มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในอาหารและมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อได้ดีกว่า ขณะที่มีอัตราการกินอาหารน้อยกว่ากุ้งที่เลี้ยงในระดับความเค็ม 10 พีพีที ซึ่งการที่กุ้งขาวที่เลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเค็มสูงมีการเจริญเติบโต และมีประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหารได้ดีนั้น เป็นเพราะว่าโดยลักษณะทางสรีรวิทยาของกุ้งขาวเป็นสัตว์ที่ชอบอาศัยในสภาพแวดล้อมที่เป็นทะเลเปิดซึ่งมีระดับความเค็มของน้ำค่อนข้างสูง และมีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อเลี้ยงที่ความเค็ม 30-40 พีพีที (Yano *et al.*, 1998) ประจวบ (2536) กล่าวว่าปริมาณแร่ธาตุในน้ำ เช่น โพแทสเซียม (K^+) แมกนีเซียม (Mg^{++}) โซเดียม (Na^+) คลอไรด์ (Cl^-) และแคลเซียม (Ca^{++}) มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตและการปรับสมดุลเกลือและน้ำ (Osmoregulation) ในตัวกุ้ง หากปริมาณโซเดียมหรือเกลือต่างๆ ไม่เพียงพอหรือน้อยเกินไปทำให้กุ้งเบื่ออาหาร การใช้ประโยชน์จากโปรตีนลดลงส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง การทำหน้าที่ควบคุมประจุต่างๆ ในร่างกายควบคู่กับคลอไรด์บกพร่อง และมีผลให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการผสมพันธุ์หรือทำให้กุ้งเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ช้าลง ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าการนำกุ้งขาวมาเลี้ยงในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงจากสภาพเดิมมาก กุ้งต้องใช้พลังงานในการปรับตัวให้เข้าสภาพแวดล้อมใหม่มากกว่านำพลังงานมาใช้สำหรับการเจริญเติบโต สอดคล้องกับ Gomez-Jimenez และคณะ (2004) กล่าวว่าความเค็มมีผลต่ออัตราการเผาผลาญอาหารให้เป็นพลังงาน (metabolic rate) ของกุ้งขาวโดยเมื่ออยู่ในน้ำที่ความเค็มต่ำจะมีความต้องการออกซิเจนและมีเมตาบอลิซึมมากกว่าที่ความเค็มสูง ในขณะที่ Diaz และคณะ (2001 อ้างโดย Gomez-Jimenez *et al.*, 2004) พบว่ากุ้งลอปสเตอร์และกุ้งขาวระยะวัยรุ่นที่อาศัยในน้ำที่มีความเค็มต่ำจะมีอัตราการสลายโปรตีนและขับถ่ายแอมโมเนียสูงขึ้นเพื่อนำพลังงานมาใช้ในกระบวนการปรับความดันออสโมติกในตัวให้เหมาะสม เช่นเดียวกับในสัตว์น้ำอื่นๆ เช่นปลากะพงซึ่งว่าสามารถนำมาเลี้ยงได้ทั้งในสภาพน้ำจืดและน้ำกร่อย แต่ประดิษฐ์ และคณะ (2532) พบว่าปลากะพงขาวที่เลี้ยงที่ความเค็มต่ำมีความเครียดสูง และต้องใช้พลังงานในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมมาก ปลาจึงมีการเจริญเติบโตช้ากว่าชุดที่เลี้ยงในน้ำเค็ม เช่นเดียวกับ Dhert และคณะ (1992) กล่าวว่าปลากะพงขาวจะสูญเสียพลังงานน้อยที่สุดเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความเข้มข้นของเกลือเท่ากับความเข้มข้นของเกลือในตัวปลา พลังงานที่เหลือจึงสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีกว่าชุดที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงความเค็มมากกว่าหรือน้อยกว่าในตัวปลา

เมื่อพิจารณาผลของการเสริมหรือไม่เสริมแคโรทีนอยด์ในอาหารต่ออัตรารอดตายของกุ้งขาวพบว่ากุ้งที่เลี้ยงในน้ำที่ระดับความเค็ม 30 พีพีที มีอัตรารอดที่ไม่แตกต่างกัน แต่ในสภาพที่กุ้งอาศัยอยู่ในน้ำที่มีความเค็ม 10 พีพีที ซึ่งต่ำกว่าระดับในสภาพแวดล้อมธรรมชาตินั้นพบว่าการ

ได้รับอาหารที่มีการเสริมแคโรทีนอยด์ช่วยให้กุ้งมีอัตรารอดตายที่สูงกว่าอย่างชัดเจน สอดคล้องกับคำกล่าวของ Darachai และคณะ (1998) ที่ได้รายงานว่าแอสตาแซนทีนที่เสริมในอาหารจะช่วยยืดระยะเวลาให้กุ้งกุลาดำระยะวัยอ่อน (postlarva) เผชิญกับสภาวะความเครียดที่มีการเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างฉับพลันได้มากขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการเสริมแคโรทีนอยด์ในอาหารสำหรับกุ้งขาวแม้ไม่มีผลในการเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งขาว แต่การเสริมแคโรทีนอยด์ในอาหารช่วยเพิ่มสีตัวกุ้งขาวได้อย่างชัดเจน โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบสีตัวกุ้งหลังต้มกับพัดสีพบว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารเสริมเบตาแคโรทีนทั้งชุดที่เลี้ยงด้วยน้ำความเค็ม 10 และ 30 พีพีที นาน 4 และ 8 สัปดาห์ มีสีตัวเข้มกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารชุดควบคุมถึง 2-3 ระดับ ในขณะที่ผลการวัดสีตัวกุ้ง พบว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนและเลี้ยงในความเค็มต่างกัน 2 ระดับ มีค่าสีแดง ในตัวสูงกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารชุดควบคุม เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์รวม ในตัวกุ้งที่พบว่ากุ้งชุดที่ได้รับอาหารผสมสารสีมีการสะสมแคโรทีนอยด์ในปริมาณที่สูงกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม ทั้งที่เลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเค็ม 10 และ 30 พีพีที สอดคล้องกับผลการศึกษาในกุ้งกุลาดำที่พบว่าการเสริมแอสตาแซนทีนทุกระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 25–150 พีพีเอ็มในอาหารสามารถเสริมให้สีตัวกุ้งเข้มกว่ากุ้งชุดที่ได้รับอาหารชุดควบคุม (มะลิและคณะ, 2543) หรือผลศึกษาของ Yamada และคณะ (1990) ที่พบว่าการเสริมแอสตาแซนทีน และเบตาแคโรทีนเพื่อเป็นแหล่งของแคโรทีนอยด์ในอาหารสามารถเพิ่มสารสีของกุ้งคุรูมาได้ รวมทั้งการศึกษาอื่นๆ ทั้งในกุ้งทะเล ปลา พบว่าแคโรทีนอยด์จากพืช จุลินทรีย์ สาหร่าย หรือการสังเคราะห์ สามารถเพิ่มสีเปลือกและเนื้อของสัตว์น้ำได้ (Storebakken *et.al.*, 1987; Liao *et al.*, 1993; Baker *et.al.*, 2002; Arredondo-Figueroa *et al.*, 2003; Chien *et al.*, 2003) เมื่อทำการเปรียบเทียบสีของกุ้งขาวทั้งจากค่าที่วัดด้วยเครื่องคัลเลอร์มิเตอร์ และค่าที่วิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์รวม พบว่ากุ้งขาวชุดที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มสูงมีการสะสมสารสีได้ดีกว่าชุดที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มต่ำ แสดงให้เห็นว่าความเค็มของน้ำนอกจากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแล้วยังเป็นปัจจัยที่ควบคุมการใช้ประโยชน์และสะสมสารสีในตัวด้วย นอกจากนั้นผลการทดลองยังบ่งชี้ว่าเมื่อเลี้ยงกุ้งขาวในตู้ทดลองนานขึ้น ปริมาณสารสีที่สะสมในตัวกุ้งทุกชุดการทดลองลดลงทั้งปริมาณค่าสีแดงและเหลืองที่วัดเครื่องคัลเลอร์มิเตอร์ และปริมาณแคโรทีนอยด์รวม ซึ่งสอดคล้องรายงานของ Arredondo-Figueroa และคณะ (2003) ที่รายงานว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารเสริมสารสีที่สกัดจากพริกหวานนาน 28 วัน มีปริมาณแคโรทีนอยด์รวมในเนื้อต่ำกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารสูตรเดียวกันนาน 14 วัน ในขณะการสะสมสารสีในเปลือกมีปริมาณสูงขึ้น แสดงว่าระยะเวลาน่าจะเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสะสมสารสีในกุ้งขาว โดยเป็นไปได้ว่าเมื่อกุ้งได้ใช้และสะสมสารสีในกล้ามเนื้อจนถึงระดับที่อิ่มตัวแล้ว กลไกของร่างกายจะแสดงออกโดยหยุดการสะสมสารสีในเนื้อลง และกุ้งมี

การนำสารสีที่สะสมถูกใช้ประโยชน์ในกระบวนการที่เกี่ยวข้องอย่างต่อเนื่องต่อไป ในขณะที่การสะสมสารสีที่เปลือกจากการเทียบค่าจากพัดสียังคงมีปริมาณไม่แตกต่างกัน จากข้อมูลดังกล่าวจึงชี้ให้เห็นว่าแม้สีเปลือกจะเป็นปัจจัยหลักที่สามารถดึงดูดผู้บริโภคและเพิ่มมูลค่าของผลผลิตกุ้งขาวได้ แต่หากมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับปริมาณ และระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้สารสีในกุ้งชนิดนี้ก็น่าจะเป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้นทั้งในส่วนของผู้ผลิตที่สามารถลดต้นทุนลงจากการใช้ปริมาณสารสีในอาหารน้อยลง รวมทั้งผู้บริโภคที่ได้รับประโยชน์จากการบริโภคเนื้อกุ้งที่มีคุณภาพอย่างแท้จริงต่อไป

แคโรทีนอยด์ที่เสริมในอาหารกุ้งขาวนอกจากช่วยเพิ่มสีตัวของกุ้งแล้วพบว่ายังมีประสิทธิภาพในการเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันในกุ้งขาวได้อีกด้วย โดยเฉพาะในสภาวะที่มีความเครียดอย่างต่อเนื่อง ในการทดลองนี้คือสภาวะที่ทดลองเลี้ยงในน้ำทะเลที่มีความเค็มต่ำนาน 8 สัปดาห์ Picking (1981) กล่าวว่าการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อสรีระของสัตว์น้ำเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเค็มทำให้ปริมาณเกลือแร่ในน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้สัตว์น้ำต้องปรับปริมาณเกลือแร่ในร่างกายเพื่อรักษาสภาวะสมดุลตามไปด้วย สัตว์น้ำ จึงอาจเกิดความเครียดและเกิดโรคแทรกซ้อนได้ง่าย การที่กุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนอยด์มีปริมาณเม็ดเลือดในระบบไหลเวียนสูงกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมอย่างชัดเจน เช่นเดียวกับกิจกรรมเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดสในเม็ดเลือดที่มีค่าสูงขึ้นอย่างไม่มีความแตกต่างทางสถิติ อีกทั้งค่าองค์ประกอบเลือดทั้ง 2 พารามิเตอร์ที่เพิ่มขึ้นยังสัมพันธ์กับอัตรารอดตายของกุ้งชุดดังกล่าวที่มีค่าสูงกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารชุดควบคุมเช่นกัน ในขณะที่ผลการศึกษาเดียวกันพบว่าการเสริมแคโรทีนอยด์ในอาหารหรือระยะเวลาที่กุ้งขาวได้รับอาหารไม่มีผลให้ค่าองค์ประกอบเลือดทั้ง 2 พารามิเตอร์ หรืออัตรารอดเพิ่มสูงขึ้นกว่ากุ้งชุดควบคุม ถ้ากุ้งขาวอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมหรือในน้ำทะเลความเค็ม 30 พีพีที จากข้อมูลดังกล่าวจึงมีความเป็นไปได้ว่าแคโรทีนอยด์ในอาหารเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ช่วยให้กุ้งมีการปรับสมดุลเกลือในตัวเพื่อให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ในสภาพแวดล้อมใหม่ได้ดีขึ้น

นอกจากนั้นอาจอธิบายได้ว่าเมื่อกุ้งเกิดความเครียดกระบวนการต่างๆ ในระบบการป้องกันตัวเองก็จะทำงานมากขึ้นกว่าปกติ ส่งผลให้อนุมูลอิสระชนิดต่างๆ ถูกปลดปล่อยออกมานอกเซลล์มากด้วยเช่นกัน อนุมูลอิสระที่มีความเข้มสูงๆ ก็จะมีผลไปทำให้เซลล์ต่างๆ อ่อนแอลง แต่ในกรณีที่กุ้งได้รับอาหารที่มีแคโรทีนอยด์ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลที่ประกอบด้วยพันธะคู่คอนจูเกตเป็นจำนวนมาก โครงสร้างดังกล่าวมีจำนวนอิเลคตรอนในโมเลกุลแบบไม่เสถียร จึงสามารถจับกับอนุมูลอิสระต่างๆ ไว้ หรืออีกนัยหนึ่งอาจกล่าวได้ว่าอนุมูลอิสระถูกทำลายและลดปริมาณลงนั่นเอง จึงทำให้กุ้งมีความแข็งมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองนี้ที่พบว่าเมื่อนำกุ้ง

แต่ละชุดการทดลองมาทดสอบความสามารถในการต้านทานต่อความเครียดโดยการเปลี่ยนแปลงความเค็มจากระดับที่เลี้ยงในขณะนั้นร่วมกับการลดปริมาณออกซิเจนของน้ำที่ใช้เลี้ยงลงครั้งละ 5 ชั่วโมง พบว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนทั้งชุดที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มสูงและต่ำมีอัตราการรอดตายมากกว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารควบคุม Chien และคณะ (1999) รายงานว่ากุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารเสริมแอสตาแซนทีน 360 พีพีเอ็ม มีความต้านทานต่อความเครียดเพิ่มขึ้นโดยมีอัตราการรอดตายและทนทานจากภาวะขาดออกซิเจนสูงกว่าชุดควบคุม เช่นเดียวกับลูกกุ้งกุลาดำระยะวัยอ่อน (postlarva) ที่ได้รับอาหารผสมแอสตาแซนทีนจะมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มได้ดีกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารชุดควบคุม โดยระดับความต้านทานเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแอสตาแซนทีนได้รับสูงขึ้น (Merchie *et al.*, 1998; Darachai *et al.*, 1998) ในขณะที่ Chien และคณะ (2003) กล่าวว่าลูกกุ้งกุลาดำระยะโพสลาร์วาที่ได้รับอาหารผสมแอสตาแซนทีน 80 พีพีเอ็ม มีความต้านทานต่อความเครียดโดยการเปลี่ยนแปลงความเค็มจาก 32 เป็น 0 พีพีที และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจาก 27 เป็น 5 องศาเซลเซียสได้ดีกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารไม่ผสมสารสีชนิดดังกล่าว และ Pan และคณะ (2003) พบว่ากุ้งกุลาดำระยะ วัยอ่อน (postlarva) ที่ได้รับอาหารผสมแอสตาแซนทีน 71.5 พีพีเอ็ม นาน 8 สัปดาห์ มีความต้านทานต่อความเครียดจากการอยู่ในน้ำที่มีปริมาณแอมโมเนียเข้มข้น 0.01, 0.2 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ดีกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารชุดควบคุม อีกทั้งยังพบว่ากุ้งทดลองชุดดังกล่าวมีระดับ total antioxidant status (TAS) ในเลือดสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ระดับแอมโมเนียมากกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ค่า superoxide dismutase (SOD) ในเลือดต่ำทุกระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย แสดงว่าแอสตาแซนทีนในอาหารมีผลในการช่วยกำจัดอนุมูลอิสระในเลือดได้ เช่นเดียวกับการที่ค่า aspartate aminotransferase (AST) และ alanine aminotransferase (ALT) ในตับกุ้งที่ได้รับอาหารที่ผสมแอสตาแซนทีนมีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุมในทุกระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย แสดงว่าแอสตาแซนทีนทำให้ตับกุ้งทำหน้าที่ได้ดีและสามารถต้านทานความเครียดที่เกิดจากแอมโมเนียได้ดีขึ้น ซึ่งเหมือนกับรายงานของ Chien และคณะ (2003) ที่รายงานว่ากุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารผสมแอสตาแซนทีนมีค่า TAS เพิ่มขึ้นและค่า SOD ลดลง ทำให้กุ้งสามารถกำจัดอนุมูลอิสระและต้านทานต่อความเครียดที่เกิดจากอุณหภูมิและความเค็มที่เปลี่ยนแปลงได้มากขึ้น ซึ่ง Balon (1979) รายงานว่าแคโรทีนอยด์อาจมีหน้าที่บางประการในระบบสรีรวิทยาที่จะช่วยเก็บรักษาออกซิเจนไว้ภายในเซลล์ในภาวะที่ออกซิเจนน้อยกว่าปกติ ซึ่งสอดคล้องกับกรณีของกุ้งคุรูมาซึ่งมีพฤติกรรมฝังตัวในทรายซึ่งมีออกซิเจนต่ำ กุ้งชนิดดังกล่าวจึงมีความต้องการแอสตาแซนทีนในระดับสูงกว่ากุ้งกุลาดำ (Chein and Jeng, 1992) จึงมีความเป็นไปได้มากที่แคโรทีนอยด์ในอาหารจะช่วยให้สัตว์น้ำมีความต้านทานต่อภาวะขาดออกซิเจนได้มากขึ้น

เมื่อพิจารณาผลของสีตัวที่จางลงแม้ว่ากุ้งจะได้รับอาหารผสมแคโรทีนอยด์นานขึ้น โดยเฉพาะในกุ้งชุดที่เลี้ยงในน้ำความเค็มต่ำ หรือความสามารถด้านทานความเครียดกับปริมาณแคโรทีนอยด์รวมที่สะสมในตัวลดลง โดยเฉพาะกุ้งที่ได้รับอาหารผสมแคโรทีนอยด์ทั้งชุดที่เลี้ยงในน้ำทะเลความเค็มต่ำและความเค็มสูงหลังการเผชิญกับการทดสอบความเครียดจากสภาพที่เลี้ยงอยู่เดิมนาน 7 วัน มีปริมาณแคโรทีนอยด์สะสมในตัวลดลงชัดเจนกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารชุดควบคุม บ่งชี้ให้เห็นว่าในสภาวะที่กุ้งต้องเผชิญกับความเครียดนั้นแคโรทีนอยด์ที่สะสมไว้ในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ทั้งตับ เลือด กล้ามเนื้อ หรือเปลือก จะถูกนำมาใช้ในการกำจัดอนุมูลอิสระป้องกันเซลล์ไม่ให้อ่อนแอเพื่อที่กระบวนการปรับสมดุลของร่างกายเกิดขึ้นได้เร็วที่สุดจนสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ได้ ซึ่ง Arredondo-Figueroa และคณะ (2003) กล่าวว่าเมื่อกุ้งได้รับสารสีจากอาหารและสะสมสารสีไว้ในกล้ามเนื้อจนถึงระดับที่อิ่มตัวแล้ว แม้ว่ากุ้งขาวจะได้รับอาหารที่ผสมแคโรทีนอยด์อย่างต่อเนื่องก็ตามกลไกของร่างกายจะแสดงออกโดยหยุดการสะสมสารสีในเนื้อ จากนั้นกุ้งมีการนำสารที่สีสะสมไว้ใช้ประโยชน์ในกระบวนการที่เกี่ยวข้องอย่างต่อเนื่องต่อไป จึงเป็นเหตุให้ปริมาณสารสีที่สะสมไว้ในเนื้อเยื่อลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแม้ไม่มีการศึกษาทดลองก่อนหน้านี้ที่สามารถนำมาอ้างอิงหรืออธิบายผลที่เกิดขึ้นจากการทดลองครั้งนี้ได้ แต่อาจเป็นไปได้ว่าสภาพการทดลองของ Arredondo-Figueroa และคณะ (2003) ที่เลี้ยงกุ้งในสภาพแวดล้อมปกติ เมื่อกุ้งขาวสะสมสารสีไว้จนอิ่มตัวแล้วจึงหยุดสะสมแต่มีการดึงแคโรทีนอยด์ในกล้ามเนื้อมาใช้ในกระบวนการต่างๆ อย่างต่อเนื่อง และการที่กุ้งเผชิญกับสภาวะที่มีความเครียดในการทดลองนี้ยิ่งทำให้กุ้งมีความต้องการใช้ แคโรทีนอยด์จะสูงขึ้น จึงมีการดึงแคโรทีนอยด์ที่สะสมไว้ในกล้ามเนื้อ รวมทั้งดึงมาจากที่สะสมไว้ที่เปลือกมากกว่าปกติในขณะที่กระบวนเปลี่ยนแคโรทีนอยด์ให้อยู่ในรูปแบบที่สะสมไว้ในเปลือกหรือส่วนต่างๆ ของร่างกายอาจเท่าเดิมหรือช้าลง จึงทำให้พบว่ากุ้งขาวในการทดลองนี้มีสีซีดลง หรือมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในตัวลดลงหลังได้รับความเครียดนานขึ้น หรือต้องอยู่ในสภาวะที่มีความเครียดนานๆ