บทที่ 4

การทดลองที่ 3. ศึกษาผลของเบตาแคโรทีนต่อการต้านทานความเครียดในกุ้งขาว

วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมสัตว์ทดลอง

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

3.2 การเตรียมอาหารทดลอง

เตรียมอาหารทดลอง 4 สูตร ให้มีชนิดขององค์ประกอบอาหารตามรายละเอียดที่รายงานใน Boonyarapalin และคณะ (2001) โดยอาหารมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และพลังงานในอาหารใกล้เคียงกันทุกสูตร โดยให้อาหารสูตรที่ 1 ไม่เติมแคโรทีนอยด์เป็นสูตรควบคุม อาหารสูตรที่ 2, 3 และ 4 เติมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ ตามรายละเอียดในตารางที่ 19 เมื่อเตรียมอาหารเสร็จจึงทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะของอาหารสูตรต่างๆ ตามรายละเอียดในตารางที่ 19

3.3 แผนการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (complete randomize design: CRD) 4 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองประกอบด้วยตู้ทดลอง 6 ซ้ำ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan' s multiple range test (DMRT) (Zar, 1984) ให้อาหารแก่กุ้งทดลองวันละ 4 มื้อโดยให้จนอิ่มตลอดระยะเวลาการเลี้ยง หลังการเลี้ยงกุ้งแต่ละชุดการทดลองนาน 3, 5 และ 7 สัปดาห์ จะทำการเปลี่ยนแปลงระดับความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงจาก 30 พีพีที เป็น 10 พีพีที สลับกันทุกๆ วันเป็นเวลา 7 วัน เก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ได้แก่ การเจริญเติบโต วัดการเปลี่ยนแปลงของสีตัวกุ้งขาว วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในกุ้งทดลองทั้งตัว วิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์รวม และศึกษาองค์ประกอบเลือดโดยวิธีการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

ตารางที่ 19 อาหารทดลองของเบตาแคโรทีนต่อการต้านทานความเครียดในกุ้งขาว

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	9.88	9.43	9.93
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]	0.005[2]	0.05[2]	0.1[2]
รวม	100	100	100	100
คุณค่าทางโภชนะของอาหารทดลอง (% น้ำหนักแห้ง)				
โปรตีน	43.49 ± 0.36	43.20 ± 1.18	43.37 ± 1.71	43.75 ± 0.09
ไขมัน	10.07 ± 0.10	9.75 ± 1.48	9.49 ± 0.75	9.29 ± 1.26
เถ้า	8.22 ± 0.03	8.20 ± 0.02	8.08 ± 0.03	8.21 ± 0.08
พลังงาน (กิโลแคลอรี/ อาหาร 100 กรัม)	333.34 ± 0.85	331.24 ± 8.10	329.52 ± 4.44	328.99 ± 7.80
แคโรทีนอยด์รวม (มิลลิกรัม / กิโลกรัม)	00.00 ± 0.00	43.49± 3.30	450.76± 4.85	890.26± 8.85

หมายเหตุ [1] = ไม่เติมแคโรทีนอยด์

[2] = เติมเบตาแคโรทีน

* 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

ผลการทดลองที่ 3

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 ($p>0.05$) ชุดการทดลอง ความเครียดและความสัมพันธ์ระหว่างชุดการทดลองและความเครียด

ไม่ทำให้อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนเปลี่ยนแปลง ($p>0.05$)

3.3 องค์ประกอบทางเคมีของกุ้ง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาการของกุ้งทั้งตัว เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสดงในตาราง 22 ในกุ้งขาวที่ได้รับผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 1,000 พีพีเอ็ม มีปริมาณโปรตีนสูงสุดแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับทุกชุดการทดลองความเครียดเพียงอย่างเดียว และความความสัมพันธ์ระหว่างชุดการทดลองและความเครียดไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนในตัวกุ้ง ปริมาณความชื้นที่สะสมในตัวกุ้งไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับทุกชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลอง ความเครียด และความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้ง 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 ทั้ง2 ชุดมีค่าสีอยู่ในช่วง 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 ทำให้ค่าความสว่างของสีตัวเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าเพิ่มขึ้นในกุ้งที่ได้รับความเครียด

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 (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (%)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (% วัน)	อัตรารอดตาย (%)
ควบคุม (10 พีพีที)	ควบคุม	8.67 ± 0.45	347.54 ± 24.75	2.18 ± 0.02	93 ± 10.61
	Salinity stress*	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
	Salinity stress*	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
	Salinity stress*	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
	Salinity stress*	8.49 ± 0.18	341.03 ± 11.26	2.19 ± 0.06	88 ± 3.54

* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

Salinity stress* โดยการเปลี่ยนความเค็มของน้ำที่เลี้ยงกุ้งจาก 30 ppt เป็น 10 ppt สลับไปมาเป็นเวลา 7 วัน

ตารางที่ 21 อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน*

ชุดการทดลอง		อัตราการกินอาหาร (% / น้ำหนักตัว / วัน)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	ประสิทธิภาพการใ โปรตีน
ควบคุม (10 พีพีที)	ควบคุม	27.43 ± 16.50	2.22 ± 0.13	1.12 ± 0.10
	Salinity stress*	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
	Salinity stress*	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
	Salinity stress*	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
	Salinity stress*	36.82 ± 2.45	2.19 ± 0.06	1.12 ± 0.18

* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Salinity stress* โดยการเปลี่ยนความเค็มของน้ำที่เลี้ยงกุ้งจาก 30 ppt เป็น 10 ppt สลับไปมาเป็นเวลา 7 วัน

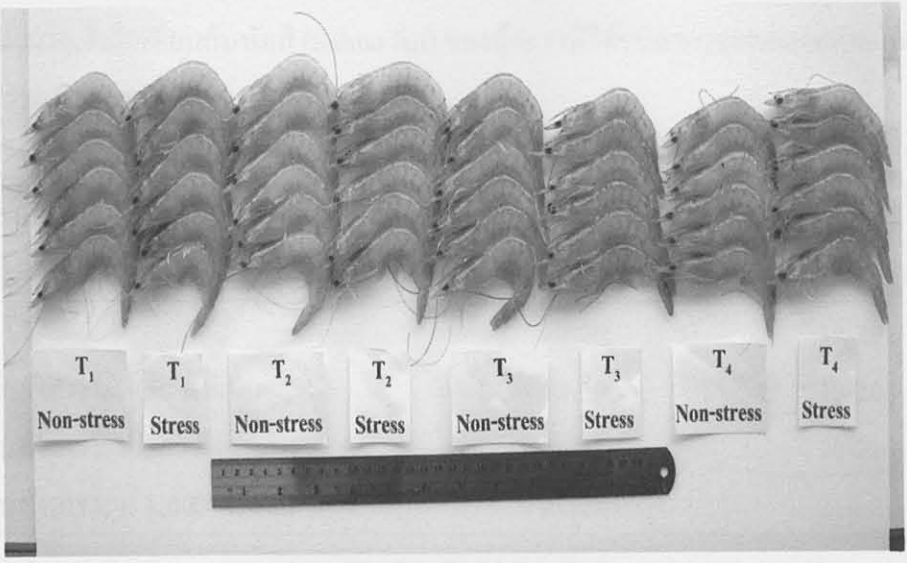
ตารางที่ 22 องค์ประกอบทางโภชนาการของกุ้งทั้งตัวที่ได้รับอาหารแตกต่างกันเป็นเวลา 8 สัปดาห์

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}
	Salinity stress*	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}
	Salinity stress*	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}
	Salinity stress*	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}
	Salinity stress*	76.02 ± 2.97^{ns}	75.26 ± 2.03^{b}	6.02 ± 0.51^{ab}	9.08 ± 0.07^{ab}

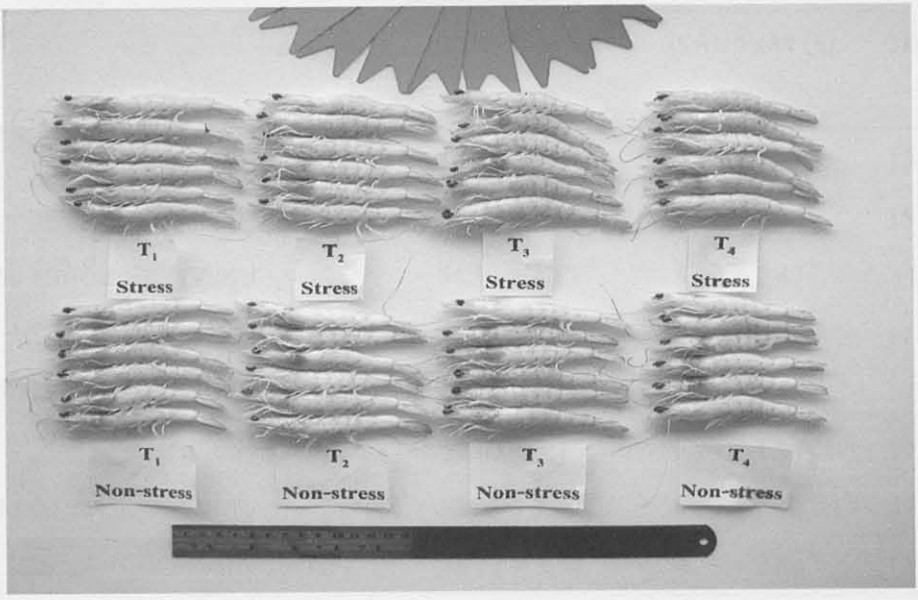
* ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Salinity stress* โดยการเปลี่ยนความเค็มของน้ำที่เลี้ยงกุ้งจาก 30 ppt เป็น 10 ppt สลับไปมาเป็นเวลา 7 วัน



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 สัปดาห์แล้วทดสอบความต้านทานต่อความเครียดโดยการเปลี่ยนแปลงระดับความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงนาน 7 วัน

ตารางที่ 23 ปริมาณสีเมื่อเทียบกับพัดสี (Salmo fan) ของกุ้งขาวที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรเป็นระยะเวลา 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}
	Salinity stress*	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}
	Salinity stress*	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}
	Salinity stress*	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}
	Salinity stress*	56.73 ± 3.54^{b}	4.23 ± 2.64^{ns}	13.03 ± 2.54^{ab}

*ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Salinity stress* โดยการเปลี่ยนความเค็มของน้ำที่เลี้ยงกุ้งจาก 30 ppt เป็น 10 ppt สลับไปมาเป็นเวลา 7 วัน

ตารางที่ 25 ปริมาณแคโรทีนอยด์รวมในกุ้งขาวที่ได้รับอาหารแตกต่างกันเป็นเวลา 4 และ 8 สัปดาห์*

ชุดการทดลอง	ทดสอบ	ปริมาณแคโรทีนอยด์รวม (พีพีเอ็ม)	
		4 สัปดาห์	8 สัปดาห์
ควบคุม	ควบคุม[1]	36.03 ±1.76[a]	40.22 ± 2.58[b]
	Salinity stress*	38.89 ± 0.83[b]	28.30 ± 1.21[a]
เบตาแคโรทีน 50 พีพีเอ็ม	ควบคุม	66.41 ± 0.92[c]	72.84 ± 2.13[d]
	Salinity stress*	67.23 ± 0.75[c]	55.00 ± 4.82[c]
เบตาแคโรทีน 500 พีพีเอ็ม	ควบคุม	104.77 ± 1.15[f]	109.58 ± 3.22[f]
	Salinity stress*	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]
	Salinity stress*	89.45 ± 4.87[d]	101.87 ± 4.63[e]

*ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเฉลี่ยมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Salinity stress* โดยการเปลี่ยนความเค็มของน้ำที่เลี้ยงกุ้งจาก 30 ppt เป็น 10 ppt สลับไปมาเป็นเวลา 7 วัน

ตารางที่ 26 ความว่องไวของเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดสของกุ้งขาวที่ได้รับอาหารแตกต่างกันเป็นเวลา 8 สัปดาห์*

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

*ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเฉลี่ยมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Salinity stress* โดยการเปลี่ยนความเค็มของน้ำที่เลี้ยงกุ้งจาก 30 ppt เป็น 10 ppt สลับไปมาเป็นเวลา 7 วัน

วิจารณ์ผลการทดลองที่ 3

จากการศึกษาผลของเบตาแคโรทีนที่มีเข้มข้นแตกต่างกันในอาหารและผลของความเครียดต่อการเจริญเติบโตในกุ้งขาว พบว่าระดับของเบตาแคโรทีนที่ผสมในอาหารมากขึ้นไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน อัตรารอดตายของกุ้งขาว เช่นเดียวกับผลการทดลองในกุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมสารสีสกัดจากพริกหวานที่ไม่ผ่านการสปอนด์นิไฟด์เข้มข้น 200 และ 250 พีพีเอ็ม และผ่านการสปอนด์นิไฟด์เข้มข้น 200 พีพีเอ็ม (Arredondo-Figueroa *et al.*, 2003) ในกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารผสมแคนตาแซนทีนสังเคราะห์เข้มข้น 50 และ 100 พีพีเอ็ม แอสตาแซนทีนสังเคราะห์เข้มข้น 25, 50 และ 100 พีพีเอ็ม (Boonyaratpalin *et al.*, 1994) หรือชุดที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนจากสาหร่ายดูนาเรลลา เข้มข้น 125 และ 175 พีพีเอ็ม (Boonyaratpalin *et al.*, 2001) ยิ่งไปกว่านั้นแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณแบตาแคโรทีนในอาหารมากยิ่งขึ้นในการทดลองนี้ก็ไม่ทำให้กุ้งขาวมีอัตราการเจริญเติบโตต่างกับกุ้งที่ได้รับอาหารไม่ผสมสารสี จากผลการทดลองสามารถบ่งชี้ได้ว่าสารสีในอาหารไม่มีบทบาทในกระบวนการย่อย ดูดซึม

สารอาหารเพื่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาว ซึ่งต่างจากกุ้งคุรุมาระยะโพสลาวาร์ที่ได้รับอาหารผสมแอสตาแซนทีนเข้มข้น 5, 15, 60 และ 300 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 30 วัน มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นโดยอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแอสตาแซนทีนในอาหารมีระดับสูงขึ้น และกุ้งระยะจูเวนไนล์ที่ได้รับอาหารผสมแอสตาแซนทีน 50, 100, 200 และ 400 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 8 สัปดาห์ มีอัตรารอดตายสูงกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารไม่ผสมแอสตาแซนทีนทุกความเข้มข้น(Yamada *et al.*, 1990) หรือว่ากุ้งลอปสเตอร์ (*Homarus americanus*) ระยะจูเวนไนล์ที่ได้รับอาหารผสมแอสตาแซนทีนที่สกัดจากเปลือกกุ้ง เคย์ฟีชมีการเจริญเติบโตสูงกว่ากุ้งชุดควบคุม (Bordner *et al.*,1986 อ้างโดย Boonyaratpalin *et al.*, 2001)

จากการศึกษาอัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของกุ้งขาว พบว่าความเครียดเพียงปัจจัยเดียวและความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของเบตาแคโรทีนและความเครียด ไม่ทำให้อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนเปลี่ยนแปลง เนื่องจากกุ้งขาวเป็นสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในน้ำที่มีความเค็มในช่วงกว้าง (euryhaline) สอดคล้องกับการทดลองของพิพัฒน์ (2541) ที่เลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ความเค็ม 3 ระดับ (10, 20 และ 30 พีพีที) และให้อาหารสำเร็จรูปชนิดเม็ดผสมโปรตีน 3 ระดับ (25, 35 และ 45 เปอร์เซ็นต์) พบว่าความเค็มไม่มีผลต่ออัตรารอด ตลอดจนพลังงานจากการบริโภค พลังงานที่ใช้ในการเติบโต พลังงานที่ใช้ในการหายใจ พลังงานที่สูญเสียไปในรูปของแอมโมเนีย และพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของมูลกุ้ง ต่างจากการศึกษาครั้งนี้ที่ความเค็มมีผลต่อการเจริญเติบโต

ปริมาณไขมันสะสมในกุ้งที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม มีปริมาณสะสมในตัวต่ำสุด โดยกุ้งที่ได้รับความเครียดจะมีปริมาณไขมันลดลงมากขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Usher และคณะ (1991) พบว่าหลังจากเคลื่อนย้ายปลาแอตแลนติกแซลมอนไปสู่น้ำทะเลเป็นเวลา 3 เดือน ปลามีการปรับตัวโดยมีปริมาณน้ำในตัวสูงขึ้น ปริมาณไขมันลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่เลี้ยงในน้ำจืด แสดงให้เห็นถึงลักษณะของปลาเนื่องจากเกิดความเครียด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของเบตาแคโรทีนสังเคราะห์และความเครียดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเค็มทำให้ปริมาณไขมันที่สะสมในตัวกุ้งเปลี่ยนแปลง

จากการวัดสี และวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ พบว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 500 พีพีเอ็ม มีค่าความสว่างของสีตัวกุ้งไม่แตกต่างกับทุกชุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าปัจจัยจากระดับความเข้มข้นของเบตาแคโรทีนสังเคราะห์และความเครียดเพียงอย่างเดียวไม่มีผลต่อค่าความสว่างของสีตัว แต่ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของเบตาแคโรทีนสังเคราะห์และความเครียดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเค็มทำให้ค่าความสว่างของสี

ตัวเพิ่มขึ้นในกุ้งที่ได้รับความเครียด ส่วนค่าสีแดงในกุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีน สังเคราะห์ 500 พีพีเอ็ม มีค่าสูงสุด เช่นเดียวกันกับปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สะสมในตัวกุ้งขาว ซึ่งพบว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ 500 พีพีเอ็ม มีปริมาณแคโรทีนอยด์สะสมในตัวสูงสุด รองลงมาได้แก่กุ้งที่ได้รับอาหารผสมเบตาแคโรทีน 1,000 พีพีเอ็ม 50 พีพีเอ็ม และสูตรควบคุม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอีกหลายประการในด้านการนำแคโรทีนอยด์ไปใช้ประโยชน์ Babosa และคณะ (1999) รายงานว่าระดับไขมันในอาหารมีส่วนเกี่ยวข้องอย่างมากกับการดูดซึมแอสตาแซนทีนของปลาเรนโบว์เทร้าท์ ทั้งนี้ในอาหารที่มีไขมันสูงปลาจะสามารถดูดซึมและนำเอาแอสตาแซนทีนเอสเทอร์ไปใช้ได้มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากแอสตาแซนทีนอิสระ แต่ในกรณีที่อาหารมีไขมันน้อย ปลาเรนโบว์เทร้าท์จะนำแอสตาแซนทีนอิสระไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพการนำแคโรทีนอยด์ไปใช้สะสมในตัวสัตว์น้ำยังขึ้นกับประสิทธิภาพการย่อยและการดูดซึมของตัวสัตว์ด้วย โดยเฉพาะแคโรทีนอยด์ที่ได้จากเซลล์จุลินทรีย์กลุ่มแบคทีเรีย และยีสต์ ซึ่งต้องผ่านการย่อยทำลายผนังเซลล์ก่อนจึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น (Sanderson and Jolly, 1994)