



ผลของแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มสีในปลาการ์ตูนแดง (*Premnas biaculeatus* Bloch, 1790)

Effects of different carotenoids on growth and pigmentation of Spine-cheek anemonefish (*Premnas biaculeatus* Bloch, 1790)

นงลักษณ์ สำราญราษฎร์¹, สมถวิล จริตควร^{1,1*}

Nonglak Somranrat¹, Somtawin Jaritkuan^{1,1*}

(Received: October 17, 2017; Revised: November 15, 2017; Accepted: November 20, 2017)

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของการเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ชนิดต่างๆ ในอาหารเลี้ยงปลาการ์ตูนแดง วางแผนการทดลองแบบ 6×3 Factorial in CRD เพื่อศึกษา 2 ปัจจัย คือ 1 ชนิดของแคโรทีนอยด์ ได้แก่ เบต้าแคโรทีน แคนทาแซนทิน แอสตาแซนทิน ลูทีนและซีแซนทิน ตามลำดับ โดยอาหารไม่เสริมแคโรทีนอยด์เป็นสูตรควบคุม และ 2 ระยะเวลาในการเสริม คือ 1, 2 และ 3 เดือน เลี้ยงปลาด้วยอาหารที่เสริมแคโรทีนอยด์แต่ละชนิดในอัตรา 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ชนิดละ 3 ซ้ำ แบบให้กินจนอิ่มวันละ 2 ครั้ง ทดลองเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยวัดผลการเจริญเติบโตและสีบนผิวหนังปลาเดือนละครั้ง ผลการศึกษาพบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่เสริมและเสริมแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการอดตาย และอัตราแลกเนื้อไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่มีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเข้มของเม็ดสีแดง (a^*) ค่าความเข้มของเม็ดสีเหลือง (b^*) ปริมาณแคโรทีนอยด์รวม ชนิดและปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สะสมบริเวณผิวหนังปลา ($p<0.05$) โดยผิวหนังปลาการ์ตูนแดงที่ได้รับอาหารที่เสริมแอสตาแซนทินสังเคราะห์ มีความเข้มเม็ดสีแดงและมีปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสูงสุด และทำให้ผิวหนังปลามีลักษณะสีแดงสด ขณะที่การเสริมลูทีนและซีแซนทินในอาหารมีผลต่อการเพิ่มความเข้มของเม็ดสีเหลือง ส่วนชนิดและปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สะสมบริเวณผิวหนังปลาสัมพันธ์กับชนิดของแคโรทีนอยด์ที่เสริมในอาหาร

ผลของระยะเวลาในการเสริมแคโรทีนอยด์ในอาหาร พบว่า อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและอัตราการอดตายของปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมแคโรทีนอยด์มีค่าลดลง และอัตราแลกเนื้อมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเสริมที่นานขึ้น ($p<0.05$) ส่วนค่าความสว่าง พบว่า มีค่าลดลงเช่นกันแต่ค่าในเดือนที่ 2 และ 3 ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ขณะที่ค่าความเข้มเม็ดสีแดง และสีเหลือง ปริมาณแคโรทีนอยด์รวม ชนิดและปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สะสมบริเวณผิวหนังปลามีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเสริมที่นานขึ้น แต่ในเดือนที่ 2 และ 3 มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) สรุปได้ว่าปลาการ์ตูนแดงที่ได้รับอาหารเสริมแอสตาแซนทินสังเคราะห์ เป็นเวลา 2 เดือน ทำให้มีการเพิ่มของสีแดงบริเวณผิวหนังปลามากที่สุด

คำสำคัญ: ปลาการ์ตูนแดง แคโรทีนอยด์ การเจริญเติบโต การเพิ่มสี

^{1,1*} ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

^{1,1*} Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University

^{1*} ผู้ติดต่อประสานงาน : somtawin@buu.ac.th

^{1*} Corresponding author: somtawin@buu.ac.th

Abstract

This study aimed to examine the effects of dietary supplementation with various synthetic carotenoid type in spine-cheek anemone fish. A 6x3 factorial experiment was conducted to determine two factors. First factor was 5 different carotenoid types: carotene, canthaxanthin, astaxanthin, lutein, and zeaxanthin. A non-carotenoid supplemented diet was assigned as control. Second factor was supplementation time, which consisted in 1, 2 and 3 months of diet time. Fish diet contained each 100 mg/kg of carotenoid with 3 replications, to satiation, twice a day. Experiment was carried out for 3 months, in which growth and skin color were evaluated monthly. Results revealed the following. Non-significant differences were observed in: a) average daily gain, b) specific growth rate, c) survival rate, and d) feed conversion ratio between fish fed with non-carotenoid supplemented diet and fish fed with each carotenoid ($p>0.05$). However, brightness (L^*), redness (a^*), yellowness (b^*), total carotenoid, type and content of carotenoid accumulated in fish skin were significantly affected ($p<0.05$). Skin of fish fed with supplemented astaxanthin diet showed the highest redness and total carotenoids. Meanwhile, dietary supplementation with lutein and zeaxanthin increased yellowness values. Types and contents of carotenoid accumulated in fish skin were related to type of carotenoid supplement in diet.

Values in supplementation time had shown significantly lower specific growth rate, survival rate, and higher feed conversion ratio when supplemented time increased ($p<0.05$). Brightness also showed a decreasing trend, but non-significant difference was observed between month 2 and 3 ($p>0.05$). Meanwhile, redness, yellowness, total carotenoids, types and contents of carotenoid accumulated in fish skin showed an increasing trend in time, but non-significant differences were observed between month 2 and 3 ($p>0.05$). Synthetic astaxanthin was mostly an efficient carotenoid source for enhancing redness of spine-cheek anemone fish skin in a 2-month supplementation period of time as it made redness of skin the highest.

Keywords: Spine-cheek anemonefish, Carotenoid, Growth, Pigmentation

บทนำ

ปลาการ์ตูนแดงเป็นปลาทะเลสวยงามที่นิยมเลี้ยงอย่างแพร่หลาย มีสีที่หลากหลาย ปลาขนาดเล็กมีสีแดงสดจนถึงแดงก่ำ (Fenner, 2005) ปลาการ์ตูนแดงมีความคล้ายกับปลาการ์ตูนทองมาก ต่างกันที่บริเวณแถบพาดขวางลำตัวมีสีขาวและเป็นแถบเล็กๆ และมีส่วนของสีแดงสดกว่าปลาการ์ตูนทอง จากการเพาะเลี้ยงปลาการ์ตูนพบว่าปลาที่มีสีผิดลง หรือมีสีสันทัดตรงตามความต้องการของตลาด การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากการทำงานของเซลล์ผิวหนังที่มีแคโรทีนอยด์เป็นองค์ประกอบซึ่งปลาเปลี่ยนสีสันทัดให้เข้ากับสภาพแวดล้อม และตอบสนองต่อสิ่งเร้าเมื่อมีอาหารต้นตื้นหรือขณะเกี่ยวพาราสี (Hoar & Randall, 1989) เนื่องจากปลาไม่สามารถสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ได้เองจำเป็นต้องได้รับจากอาหารโดยตรง (Goodwin, 1951) การเสริมแคโรทีนอยด์ในอาหารจึงเป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยให้ปลาการ์ตูนแดงมีสีสันทัดตรงตามความต้องการของตลาดโดยเฉพาะสีเหลือง สีส้ม และสีแดง อย่างไรก็ตาม แคโรทีนอยด์แต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการใช้นั้นในสัตว์น้ำ (bioavailability) แตกต่างกัน (Yeum & Russell, 2002) ปลาสามารถเก็บเม็ดสีที่ได้รับจากอาหารไว้ในตัวหรือเปลี่ยนเป็นแคโรทีนอยด์ในรูปแบบอื่นๆ ขึ้นอยู่กับกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในตัวของปลาชนิดนั้นๆ แคโรทีนอยด์ มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการเมแทบอลิซึม



ของปลา เนื่องจากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากสารอาหารและอาจส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของปลาเพิ่มสูงขึ้น (Amar., Kiron, Satoh & Watanabe, 2001) และสำคัญต่อระบบการสืบพันธุ์อีกด้วย (Miki, 1991) นอกจากนี้แคโรทีนอยด์สังเคราะห์ต่างชนิดกันอาจให้สีในสัตว์น้ำต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์น้ำ การศึกษาชนิดของแคโรทีนอยด์ที่มีผลต่อการเพิ่มสีบริเวณผิวหนังของปลา red porgy พบว่าเกิดจากการใช้แอสตาแซนทินในรูปของเอสเตอร์ และรูปอิสระจากแหล่งต่างๆ (Chatzifotis, Pavlidis, Jimeno, Vardanis, Sterioti & Divanach, 2005) การศึกษาของ Kanokkrung, Watanadilok, Muthuwan, & Santawanpas (2013) ศึกษาผลการสะสมสารสีแคโรทีนอยด์ในปลาการ์ตูนส้มขาว พบว่าเสริมแอสตาแซนทินที่ 35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีผลต่อการสะสมเบต้าแคโรทีน ลูทีน และซีแซนทิน ปัจจุบันมีการจำหน่ายอาหารสำเร็จรูปสำหรับปลาทะเลสวยงาม แต่เนื่องจากปลาการ์ตูนแต่ละชนิดมีสีสันแตกต่างกัน ดังนั้นความต้องการสารอาหารเพื่อเพิ่มสีจึงแตกต่างกัน สำหรับปลาการ์ตูนแดงยังไม่มีข้อมูลรายงานถึงชนิดอาหาร และระยะเวลาการเลี้ยงที่เหมาะสม รวมถึงสารสีที่เหมาะสมในการเสริมในอาหารเพื่อให้ได้สีปลาตรงตามความต้องการของผู้เลี้ยง

การศึกษานี้จึงมุ่งให้ทราบถึงชนิดของแคโรทีนอยด์สังเคราะห์และระยะเวลาที่ปลาได้รับแคโรทีนอยด์ต่อการเจริญเติบโต อัตรารอด อัตราแลกเนื้อ และการเพิ่มสีของปลาการ์ตูนแดง เพื่อให้ปลามีสีสวยงามตรงกับความต้องการของตลาด ถือเป็นการปรับปรุงคุณภาพผลผลิต และเพิ่มมูลค่าปลาการ์ตูนแดงเพื่อการส่งออก และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการผลิตอาหารที่ช่วยเพิ่มสีในปลาทะเลสวยงามต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อทราบถึงชนิดของแคโรทีนอยด์สังเคราะห์และระยะเวลาที่ปลาได้รับแคโรทีนอยด์ต่อการเจริญเติบโต อัตรารอด อัตราแลกเนื้อ และการเพิ่มสีของปลาการ์ตูนแดง

ระเบียบวิธีวิจัย

การเตรียมอาหาร

อาหารที่ใช้ในการทดลอง มี 6 สูตร ประกอบด้วย สูตรที่ 1 คืออาหารเม็ดที่ไม่เสริมแคโรทีนอยด์ (สูตรควบคุม) สูตรที่ 2 ถึง สูตรที่ 6 คืออาหารเม็ดที่เสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ต่างชนิดกันที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ได้แก่ เบต้าแคโรทีน (สูตรที่ 2) แคนทาแซนทิน (สูตรที่ 3) แอสตาแซนทิน (สูตรที่ 4) ลูทีน (สูตรที่ 5) และซีแซนทิน (สูตรที่ 6) ดังตารางที่ 1 อาหารถูกอัดเม็ดด้วยเครื่องบดอาหารความเร็วรอบ 146 รอบต่อนาที เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเม็ดอาหารประมาณ 1 มิลลิเมตร ทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งเยือกแข็งสุญญากาศ (Freeze dryer : ยี่ห้อ Help รุ่นLyoPro 6000-55.) จากนั้นนำมาคัดแยกขนาดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 1000 ไมครอน จึงนำอาหารเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส อาหารส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วิเคราะห์โปรตีนด้วยเทคนิค Combustion method (TruSpec Carbon/Nitrogen Determination) ยี่ห้อ LECO ไขมันโดยใช้เทคนิค Supercritical Fluid Extraction (SFE) ด้วยเครื่อง Fat Extractor TFE2000 ยี่ห้อ LECO ความชื้นและเยื่อใย ตามวิธีของ AOAC (2005) ชนิดและปริมาณแคโรทีนอยด์ด้วยเครื่อง HPLC ยี่ห้อ Alliance รุ่น Waters 2695 ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของอาหารแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของอาหารทดลองแต่ละสูตร (กรัม/ 100 กรัมอาหาร)

วัตถุดิบ (กรัม)	สูตรอาหาร					
	1	2	3	4	5	6
ปลาป่น	60	60	60	60	60	60
กากถั่วเหลือง	11.5	11.4	11.4	11.4	11.3	11.3
หัวิดกลูเท็น	5	5	5	5	5	5
แป้งสาลี	15	15	15	15	15	15
น้ำมันปลาทูนา	5	5	5	5	5	5
วิตามินผสม ¹	2	2	2	2	2	2
แรธาตุผสม ²	1	1	1	1	1	1
วิตามินซี 80 %	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
เบต้าแคโรทีน 10 % (BASF) ³		0.1				
แคนทาแซนทีน 10 % (BASF) ⁴			0.1			
แอสตาแซนทีน 10 % (BASF) ⁵				0.1		
ลูทีน 5 % (BASF) ⁶					0.2	
ซีแซนทีน 5 % (BASF) ⁷						0.2
รวม	100	100	100	100	100	100

หมายเหตุ: ¹ วิตามินผสมประกอบด้วยวิตามิน (ปริมาณกรัมต่อกิโลกรัมวิตามินผสม) ดังต่อไปนี้ thiamine (B1) 23.47; Riboflavin (B2) 25; Niacin 37.07; Vitamin E 50% 80; Pyridoxine HCl 54.55; Ca-D-Pantothenate (B5) 25; Inositol 98; Biotin 25; Folic Acid 2.1; Cyanocobalamin (B12) 0.6; Menadione (K 50 %) 26; Vitamin C 80 % 85.71; Oholine Chloride 50 % 300; Vitamin A/D3 2.3 และ Cellulose 215.20

² แรธาตุผสม ประกอบด้วยเกลือแร่ในอัตราส่วนดังต่อไปนี้ KH_2PO_4 : $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: KCl : FeSO_4 : ZnSO_4 : CuSO_4 : MnSO_4 = 1.0: 1.0: 1.5: 0.5: 0.0063: 0.0074: 0.0013: 0.0055

³ เบตาแคโรทีนสังเคราะห์ ประกอบด้วยเบตาแคโรทีน 10 เปอร์เซนต์ ชื่อทางการค้า Lucarotin@ 10 % feed จากบริษัท BASF

⁴ แคนทาแซนทีนสังเคราะห์ ประกอบด้วยแคนทาแซนทีน 10 เปอร์เซนต์ ชื่อทางการค้า Lucantin@ Red จากบริษัท BASF

⁵ แอสตาแซนทีนสังเคราะห์ ประกอบด้วยแอสตาแซนทีน 10 เปอร์เซนต์ ชื่อทางการค้า Lucantin@ Pink จากบริษัท BASF

⁶ ลูทีนสังเคราะห์ ประกอบด้วยลูทีน 5 เปอร์เซนต์ ชื่อทางการค้า Lutein 5 % DC จากบริษัท BASF ⁷ ซีแซนทีนสังเคราะห์ ประกอบด้วยซีแซนทีน 5 เปอร์เซนต์ ชื่อทางการค้า Zeaxanthin 5 % DC จากบริษัท BASF



ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (% น้ำหนักแห้ง) และปริมาณแคโรทีนอยด์ที่วัดได้ในอาหารทดลองแต่ละสูตร (มก./1 กก. อาหาร)

วัตถุดิบ (กรัม)	สูตรอาหาร					
	1	2	3	4	5	6
โปรตีนรวม	53.94	53.93	53.30	53.69	54.06	53.66
ไขมันรวม	12.30	12.70	12.45	12.76	12.57	12.93
คาร์โบไฮเดรต	14.61	14.59	14.96	14.64	14.69	14.66
เยื่อใย	1.06	1.13	0.95	1.08	1.10	1.11
เถ้า	18.09	17.65	18.35	17.83	17.59	17.64
ความชื้น (%)	7.26	7.24	7.13	7.20	7.21	7.39
เบต้าแคโรทีน (มก./กก.)		112				
แคนทาแซนทีน (มก./กก.)			108			
แอสตาแซนทีน (มก./กก.)				110		
ลูทีน (มก./กก.)					110	
ซีแซนทีน (มก./กก.)						108

การดำเนินการทดลอง

นำลูกปลาการตูนแดงน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 0.15 กรัม ความยาวเฉลี่ย (Total length) ประมาณ 2 เซนติเมตร อายุประมาณ 1 เดือน จำนวน 540 ตัว ทดลองในตู้กระจกความจุ้น้ำ 50 ลิตร น้ำทะเลที่มีความเค็ม 30 พีพีที จำนวน 54 ตู้ ๆ ละ 10 ตัว แต่ละตู้มีหัวทราย 2 จุดเพื่อให้อากาศ ก่อนเริ่มการทดลองนำลูกปลามาอนุบาลด้วยอาหารสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานเป็นเวลา 15 วัน และก่อนทดลองทำการวัดสีปลาทุกตัว วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) แบ่งการทดลองเป็น 6 ทรีตเมนต์ ๆ ละ 3 ซ้ำ ระหว่างทดลองให้อาหารจนอิ่มวันละ 3 มื้อ ในเวลาประมาณ 09.00 น. 11.00 น. และ 15.00 น. ที่ระยะเวลา 1, 2 และ 3 เดือน จะเก็บตัวอย่างปลาทุกตัวภายในตู้ทดลอง มาชั่งน้ำหนัก และวัดการเปลี่ยนแปลงของสี ก่อนที่จะทำการชั่งน้ำหนัก และวัดสีบริเวณตัวปลา มีการวางยาสลบทำให้ปลาเกิดอาการสูญเสียความรู้สึกบางส่วนหรือทั้งหมดด้วยยาสลบ Quinaldine (2-Methylquinoline) ที่ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม และวัดการเปลี่ยนแปลงของสีบริเวณผิวหนังปลาด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) ยี่ห้อ Minolta color reader รุ่น CR-10 โดยวัดสีบริเวณกลางลำตัวอ่านค่าในระบบ CIE ($L^*a^*b^*$) โดยค่า L^* คือค่าความสว่าง ค่า a^* คือความเข้มแดง และค่า b^* คือความเข้มเหลือง ตามวิธีการของ Choubert & Luquet (1983) นำปลาทุกตัวที่สลบแล้วมาแช่ที่ตู้ -80 องศาเซลเซียสเพื่อรอการวิเคราะห์หาปริมาณแคโรทีนอยด์รวม และชนิดแคโรทีนอยด์ ตามวิธีการดัดแปลงของ Britton, Liaaen-Jensen and Pfander (1995) ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำสัปดาห์ละครั้งในตู้เลี้ยงปลา วัดค่าความเป็นกรดเป็นเบส ด้วยเครื่อง pH meter ยี่ห้อ HACH วิเคราะห์ความเป็นด่าง ตามวิธีของ APHA, AWWA and WPCF (1985) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยใช้เครื่อง DO meter ยี่ห้อ YSI 58 วัดปริมาณไนโตรเจนและแอมโมเนียรวม ตามวิธีของ Strickland and Parsons (1972) อุณหภูมิวัดโดยใช้เครื่อง Thermometer และ ความเค็มด้วยเครื่อง Salinometer

วิเคราะห์หาความแปรปรวนข้อมูลทางสถิติแบบสองทาง (Two-way ANOVA) ปัจจัยที่ 1 คือชนิดของแคโรทีนอยด์ ปัจจัยที่ 2 คือระยะเวลาที่ปลาได้รับแคโรทีนอยด์ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสูตรอาหารด้วยวิธี Tukey's HSD test

ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ของข้อมูลอัตราการเพิ่มน้ำหนักต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตรารอด อัตราแลกเนื้อ ค่าความสว่าง ค่าความเข้มแดง ค่าความเข้มเหลือง ปริมาณแคลอรีที่น้อยโดยรวม และชนิดแคลอรีที่น้อยที่สะสมบริเวณผิวหนังปลา ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

1. การเจริญเติบโต อัตรารอด และอัตราการแลกเนื้อ

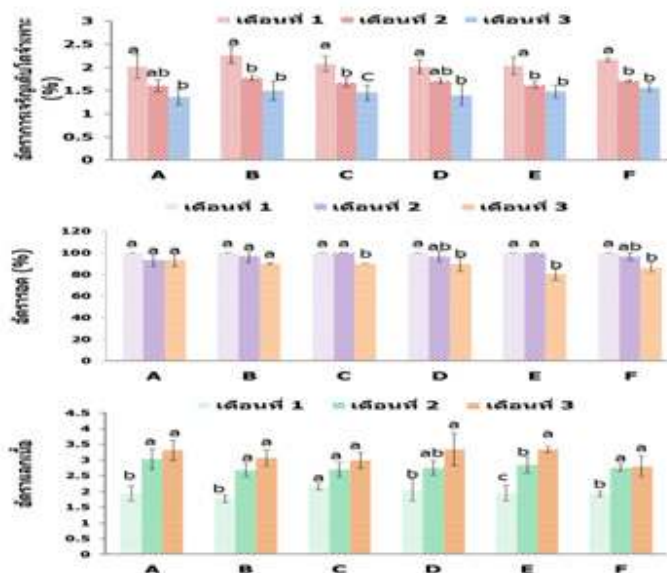
จากการเลี้ยงปลาด้วยอาหารทั้ง 6 สูตร โดยแบ่งระยะเวลาการเลี้ยง คือ 1, 2 และ 3 เดือน พบว่าอาหารทั้ง 6 สูตร และระยะเวลาการเลี้ยงไม่มีอิทธิพลร่วม (interaction) ต่ออัตราการเพิ่มน้ำหนักต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตรารอด และอัตราแลกเนื้อ ($p>0.05$) โดยพบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 6 สูตรมีค่าอัตราการเพิ่มน้ำหนักต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตรารอด และอัตราแลกเนื้อ มีค่าอยู่ในช่วง 9.06-10.18 มิลลิกรัมต่อวัน, 1.66-1.85 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน, 93.33-96.66 % และ 2.50-2.76 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) (ตารางที่ 3) เมื่อพิจารณาระยะเวลาของการเลี้ยงปลาด้วยอาหารแต่ละสูตรในเดือนที่ 1, 2 และ 3 พบว่าอัตราการเพิ่มน้ำหนักต่อวันไม่แตกต่างกันตามระยะเวลาของอาหารแต่ละสูตร ในขณะที่ปลาการขุนแดงที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมแคลอรีที่น้อยได้สังเคราะห์ชนิดต่าง ๆ และชุดควบคุม ในเดือนที่ 1 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะดีที่สุด เช่นเดียวกับอัตราแลกเนื้อ ส่วนอัตรารอดในเดือนที่ 1 และ 2 มีอัตรารอดดีที่สุด เนื่องจากเมื่อเพิ่มระยะเวลาการเลี้ยงส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของปลาค่อย ๆ ลดลง และส่งผลต่ออัตรารอดทำให้อัตราแลกเนื้อสูงขึ้นตามระยะเวลาเลี้ยงในอาหารแต่ละสูตร (ภาพที่ 1) เมื่อพิจารณาชนิดของแคลอรีที่น้อยได้สังเคราะห์ พบว่าไม่มีผลต่ออัตราการเพิ่มน้ำหนักต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตรารอดตาย และอัตราแลกเนื้อ เนื่องจากแคลอรีที่น้อยได้สังเคราะห์มีคุณค่าทางโภชนาการในสูตรอาหารไม่แตกต่างกันมีโปรตีน 54% และไขมัน 12% สอดคล้องกับ Seyed, Sharifpour, Ramin, & Jamili (2013) ที่ศึกษาการเสริมแอสดาแซนทินสังเคราะห์ในอาหารด้วยความเข้มข้น 180 และ 270 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร พบว่าอาหารที่เสริมสารดังกล่าวไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาการ์ตูนส้มขาว และ Boonyaratpalin, Thongrod, Supamattaya, Britton & Schlipalius (2001) พบว่าอาหารเสริมสาหร่ายดุนเอลล่าและแอสดาแซนทินสังเคราะห์ ไม่มีผลต่อน้ำหนักเฉลี่ย อัตรารอด และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มของกึ่งกุลาดำ ในขณะที่ Lakehi, Ahmadi, Safi, Ytrestoyl & Bjerkeng (2010) พบว่าอาหารที่เสริมแอสดาแซนทินสังเคราะห์มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของแม่พันธุ์ปลาเรนโบว์เทรา แต่ไม่มีผลต่ออัตรารอด และอาหารผสมสารสีสังเคราะห์ Astaxanthin และ Canthaxanthin ไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายในปลาแซลมอล Atlantic ขนาดเล็กและวัยรุ่น (Christiansen & Torrisen, 1996) และไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตในปลาเทรทรา *Hyphessobrycon callistus* (Yi-Juan Wang, Yew-Hu Chien & Chih-Hung Pan, 2006)



ตารางที่ 3 อัตราการเพิ่มน้ำหนักตัววัน (DWG) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) อัตรารอด (Survival) และ อัตราแลกเนื้อ (FCR) ของปลาการ์ตูนแดงที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรต่างๆ เป็นเวลา 3 เดือน

Parameter	DWG (mg/day)	SGR (%/day)	Survival (%)	FCR
Reared period (Factor A)				
1 month	9.37±0.66 ^a	2.08±0.17 ^a	100.00±0.00 ^a	1.96±0.19 ^c
2 month	9.47±0.56 ^a	1.68±0.09 ^b	97.22±4.60 ^a	2.79±0.23 ^b
3 month	10.01±1.85 ^a	1.46±0.17 ^c	88.33±7.07 ^b	3.14±0.51 ^a
Diet (Factor B)				
Basal diet	9.06±0.85 ^a	1.66±0.33 ^a	95.55±5.27 ^a	2.76±0.689 ^a
Basal diet + beta-carotene	9.98±0.99 ^a	1.85±0.36 ^a	95.55±7.26 ^a	2.50±0.60 ^a
Basal diet + canthaxanthin	9.68±1.66 ^a	1.69±0.24 ^a	96.66±5.00 ^a	2.60±0.61 ^a
Basal diet + astaxanthin	9.33±1.30 ^a	1.70±0.30 ^a	95.55±5.27 ^a	2.71±0.70 ^a
Basal diet + lutein	9.46±1.10 ^a	1.71±0.28 ^a	93.33±11.18 ^a	2.71±0.63 ^a
Basal diet + zeaxanthin	10.18±1.01 ^a	1.81±0.27 ^a	94.44±7.26 ^a	2.50±0.46 ^a
P value Two-way ANOVA				
Factor A	0.261	0.000	0.000	0.000
Factor B	0.429	0.083	0.750	0.510
Factor A * Factor B	0.879	0.909	0.151	0.882

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($P>0.05$)



ภาพที่ 1 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) อัตรารอด (Survival) และ อัตราแลกเนื้อ (FCR) ที่เลี้ยงด้วยอาหารชุดควบคุม (A) อาหารที่เสริมเบต้าแคโรทีนสังเคราะห์ (B) อาหารที่เสริมแคนทาแซนทีนสังเคราะห์ (C) อาหารที่เสริมแอสตาแซนทีนสังเคราะห์ (D) อาหารที่เสริมลูทีนสังเคราะห์ (E) และอาหารที่เสริมซีแซนทีนสังเคราะห์ (F) ระยะเวลา 3 เดือน

2. ผลของแคลโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ และระยะเวลาที่ปลาได้รับการเปลี่ยนแปลงสีบริเวณผิวหนัง

จากการเลี้ยงปลาด้วยอาหารทั้ง 6 สูตร โดยแบ่งระยะเวลาการเลี้ยง คือ 1, 2 และ 3 เดือน พบว่าสูตรอาหารและระยะเวลาการเลี้ยงมีอิทธิพลร่วม (interaction) ต่อค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเข้มแดง (a^*) ค่าความเข้มเหลือง (b^*) และปริมาณแคลโรทีนอยด์รวม ($p < 0.05$) โดยค่าความสว่างอยู่ในช่วง 35.24–38.85 เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น ค่าความสว่างมีแนวโน้มลดลง แต่มีค่าใกล้เคียงกันในเดือนที่ 2 และ 3 ส่วนค่าความเข้มแดง ค่าความเข้มเหลือง และปริมาณแคลโรทีนอยด์รวม พบอยู่ในช่วง 11.26–13.93, 15.10–16.50 และ 51.08–80.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง และในเดือนที่ 2 และ 3 มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4) สอดคล้องกับ Doolan, Booth, Jones & Allan (2008) ที่รายงานว่าการเสริมแอสตาแซนทีนสังเคราะห์ให้ปลา Australian snapper (*Pagrus auratus*) ทำให้ความเข้มของเม็ดสีแดงมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนความเข้มของเม็ดสีเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้นในทางเดียวกันแต่ต่ำกว่าค่าความเข้มของเม็ดสีแดงเมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 21 วัน และความเข้มของเม็ดสีแดงและสีเหลือง มีค่าเพิ่มขึ้นปริมาณมากภายใน 42 วัน และหลังจาก 63 วันพบว่าค่าเพิ่มขึ้นของสีไม่แตกต่างกัน Ho, Shea & Pomeroy (2013) ศึกษาผลของแอสตาแซนทีนในอาหารต่อการเกิดสี และการสะสมของแคลโรทีนอยด์ของลูกปลาทูน่าสมขาว พบว่าปลาที่ให้อาหารเสริมแอสตาแซนทีนสังเคราะห์ 80 และ 160 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหารช่วยปรับปรุงสีปลาคูได้ดี การเพิ่มความเข้มข้นของแอสตาแซนทีน และระยะเวลาให้อาหารที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเข้มข้นของแคลโรทีนอยด์ในผิวหนังเพิ่มขึ้นด้วย

จากการทดลองครั้งนี้ พบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 6 สูตรมีค่าความสว่าง ค่าความเข้มแดง ค่าความเข้มเหลือง และปริมาณแคลโรทีนอยด์รวม แตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยค่าความสว่าง พบอยู่ในช่วง 31.0–45.80 อาหารชุดควบคุมมีค่ามากที่สุด และอาหารที่เสริมแอสตาแซนทีนสังเคราะห์มีค่าน้อยที่สุด ค่าความเข้มแดง พบอยู่ในช่วง 8.23–17.04 โดยอาหารเสริมแอสตาแซนทีนสังเคราะห์มีค่ามากที่สุด ส่วนค่าความเข้มเหลือง พบอยู่ในช่วง 11.59–18.31 โดยอาหารที่เสริมลูทีนสังเคราะห์มีค่ามากที่สุด ส่วนปริมาณแคลโรทีนอยด์รวม พบอยู่ในช่วง 41.80–110.64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าสูตรอาหารเสริมแอสตาแซนทีนสังเคราะห์มีค่ามากที่สุด สูตรอาหารชุดควบคุมมีค่าน้อยที่สุด (ตารางที่ 4) สอดคล้องกับ Lakehi, Ahmadi, Safi, Ytrestoyl & Bjerkeng (2010) ที่ศึกษาการเสริมแอสตาแซนทีนสังเคราะห์ในอาหารแม่พันธุ์ปลาเรนโบว์เทรา พบว่าอาหารที่เสริมแอสตาแซนทีนมีผลต่อแคลโรทีนอยด์รวม และจากการทดลองครั้งนี้พบว่าปลาการุณแดงที่ได้รับอาหารเสริมแอสตาแซนทีนสังเคราะห์ มีผลทำให้ความเข้มเม็ดสีแดงบริเวณผิวหนังปลาเพิ่มมากที่สุด โดยที่ค่าความสว่างลดลง ส่วนปลาที่ได้รับอาหารเสริมลูทีน และซีแซนทีน พบว่าค่าความเข้มของสีเหลืองมากกว่าชุดการทดลองอื่น (ภาพที่ 2) ทำให้ผิวหนังปลา มีลักษณะสีเหลืองและสีส้ม (ภาพที่ 3) สำหรับปริมาณแคลโรทีนอยด์รวม พบว่าปลาการุณแดงที่ได้รับอาหารเสริมแอสตาแซนทีนสังเคราะห์มีปริมาณแคลโรทีนอยด์รวมสูงสุด สอดคล้อง Idahah & Jian (2010) พบว่าการเสริมแอสตาแซนทีนในอาหารทำให้ปลาคูการุณแดงมีสีแดงบริเวณผิวหนังเพิ่มขึ้น โดยในสัปดาห์ที่ 1 พบแอสตาแซนทีน แต่สัปดาห์ที่ 5 พบซีแซนทีนสะสมบริเวณผิวหนัง ซึ่งผลที่ได้แตกต่างจากการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่าเมื่อเสริมแอสตาแซนทีนในอาหารจะไม่พบการเพิ่มขึ้นของซีแซนทีนสะสมบริเวณผิวหนัง (ตารางที่ 4)



ตารางที่ 4 ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเข้มแดง (a*) ค่าความเข้มเหลือง (b*) และปริมาณแคโรทีนอยด์รวม ของ ปลาการ์ตูนแดงที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรต่างๆ เป็นเวลา 3 เดือน

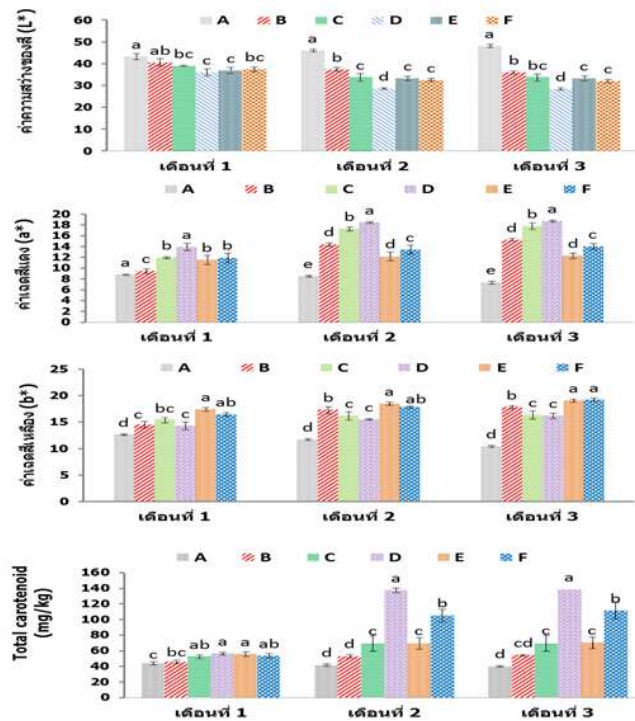
Parameter	Lihgtness	Redness	Yellowness	Totalcarotenoid (mg/kg)
Reared period (Factor A)				
1 month	38.85±2.77 ^a	11.26±1.80 ^b	15.10±1.62 ^b	51.08±5.53 ^b
2 month	35.24±2.68 ^b	13.77±3.49 ^a	16.16±2.31 ^a	79.35±3.84 ^a
3 month	35.25±3.42 ^b	13.93±3.96 ^a	16.50±3.07 ^a	80.68±5.25 ^a
Diet (Factor B)				
Basal diet	45.80±2.27 ^a	8.23±0.68 ^f	11.59±0.97 ^a	41.80±2.24 ^e
Basal diet + beta-carotene	37.99±2.27 ^b	11.19±1.34 ^e	16.53±1.59 ^b	50.98±2.41 ^d
Basal diet + canthaxanthin	35.44±2.92 ^c	15.64±2.81 ^b	15.94±0.77 ^c	63.83±2.48 ^c
Basal diet + astaxanthin	31.00±3.87 ^e	17.04±2.36 ^a	15.33±0.95 ^d	110.64±4.93 ^a
Basal diet + lutein	34.47±2.03 ^{cd}	11.98±0.63 ^d	18.31±0.78 ^a	65.10±3.02 ^c
Basal diet + zeaxanthin	33.78±2.71 ^d	13.83±1.61 ^c	17.81±1.23 ^a	89.87±4.51 ^b
P value Two-way ANOVA				
Factor A	0.000	0.000	0.000	0.000
Factor B	0.000	0.000	0.000	0.000
Factor A * Factor B	0.000	0.000	0.000	0.000

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (P>0.05)

3. ชนิดและปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สะสมบริเวณผิวหนังปลา

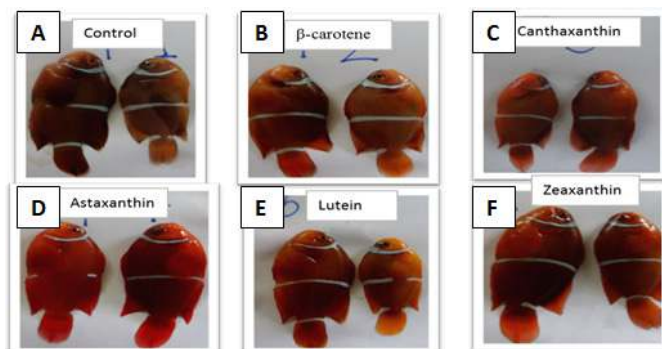
จากการเลี้ยงปลาด้วยอาหารทั้ง 6 สูตร โดยแบ่งระยะเวลาการเลี้ยง คือ 1, 2 และ 3 เดือน พบว่าสูตรอาหารและระยะเวลาการเลี้ยงมีอิทธิพลร่วม (interaction) ต่อการสะสมแอสตาแซนทิน แคนทาแซนทิน เบต้าแคโรทีน ลูทีน และซีแซนทิน บริเวณผิวหนังปลา ($p<0.05$) ดังตารางที่ 5 โดยพบว่าระยะเวลาการเลี้ยงระหว่างเดือนที่ 1, 2 และ 3 มีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) การสะสมแอสตาแซนทิน แคนทาแซนทิน เบต้าแคโรทีน ลูทีน และซีแซนทิน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเลี้ยง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.47–8.64, 5.05–6.53, 1.32–1.55, 5.86–10.86 และ 14.25–19.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรต่างกันมีค่าสารสีบริเวณผิวหนังแตกต่างกัน ($p<0.05$) (ตารางที่ 5) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Torrisen, Hardy & Shearer (1989) ที่ศึกษาเมทาบอลิซึมของแคโรทีนอยด์ในปลาแซลมอน พบว่าแอสตาแซนทินและแคนทาแซนทินเป็นองค์ประกอบทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีบริเวณผิวหนัง เนื้อ และครีบเป็นสีแดงส้มเป็นผลมาจากแอสตาแซนทินและการศึกษาในปลา gilthead seabream (*Sparus aurata*) พบว่าหลังจากให้อาหารเสริมแอสตาแซนทินแล้ว พบลูทีนสะสมบริเวณผิวหนังปลา แสดงว่าปลาชนิดนี้สามารถเปลี่ยนแอสตาแซนทินไปเป็นลูทีนได้ (Gomes, Dias & Silva, et al, 2002) ส่วน Katayama, Shintani & Chichester (1973) พบว่าการแสดงออกของสีแดงในปลาคาร์พเป็นแคโรทีนอยด์ชนิดแอสตาแซนทิน เนื่องจากปลาคาร์พสามารถเปลี่ยนลูทีนและซีแซนทินเป็นแอสตาแซนทินเช่นเดียวกับปลาทอง และ Yuangsoi, Jintasataporn, Tabthipwon & Kamel (2010) พบว่าปลาคาร์พมีการดูดซึมแอสตาแซนทินได้รวดเร็วกว่าลูทีน และเบต้าแคโรทีน และปลาคาร์พสามารถเปลี่ยนลูทีนและเบต้าแคโรทีนไปเป็นแอสตาแซนทินได้ อย่างไรก็ตาม การศึกษาค้นนี้พบว่า

สารสีที่มีปริมาณมากบริเวณผิวหนังปลาแปรรูปตามอาหารที่เสริมสารสีนั้นๆ ได้แก่การสะสมแอสตาแซนทินที่ผิวหนังปลามีค่ามากที่สุดเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมแอสตาแซนทินสังเคราะห์ (37.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เป็นต้น (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 2 ค่าความสว่างของสี (L*), ค่าเฉลี่ยแดง (a*), ค่าเฉลี่ยเหลือง (b*) และ ปริมาณแคโรทีนอยด์รวม (Total carotenoid) ที่เลี้ยงด้วยอาหารชุดควบคุม

- (A) อาหารที่เสริมเบต้าแคโรทีนสังเคราะห์ (B) อาหารที่เสริมแคนทาแซนทินสังเคราะห์
(C) อาหารที่เสริมแอสตาแซนทินสังเคราะห์ (D) อาหารที่เสริมลูทีนสังเคราะห์
(E) และอาหารที่เสริมซีแซนทินสังเคราะห์ (F) ระยะเวลา 3 เดือน



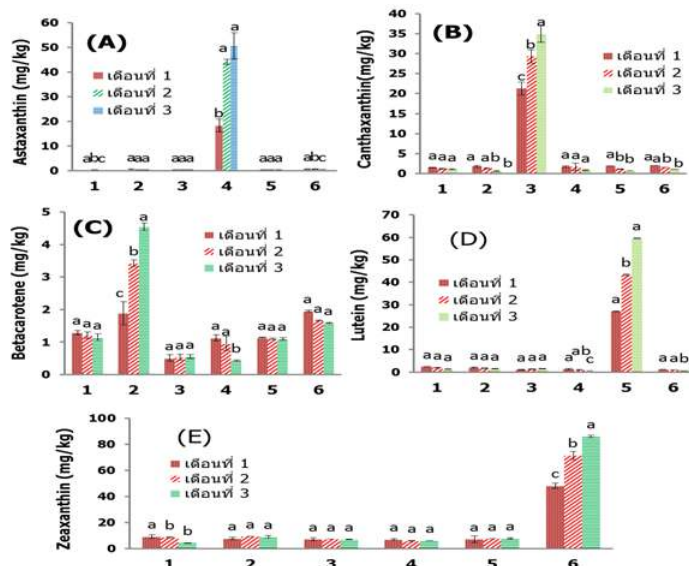
ภาพที่ 3 การแสดงออกของสีบริเวณผิวหนังของปลากัดแดงที่เลี้ยงด้วยอาหารชุดควบคุม (A) อาหารที่เสริมเบต้าแคโรทีนสังเคราะห์ (B) อาหารที่เสริมแคนทาแซนทินสังเคราะห์ (C) อาหารที่เสริมแอสตาแซนทินสังเคราะห์ (D) อาหารที่เสริมลูทีนสังเคราะห์ (E) และอาหารที่เสริมซีแซนทินสังเคราะห์ (F) เดือนที่ 3



ตารางที่ 5 ชนิดและปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สะสมบริเวณผิวหนังปลาการุญแดงที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรต่างๆ เป็นเวลา 3 เดือน

Parameter	Astaxanthin (mg/kg)	Canthaxanthin (mg/kg)	Beta-carotene (mg/kg)	Lutein (mg/kg)	Zeaxanthin (mg/kg)
Reared period (Factor A)					
1 month	3.47±1.89 ^b	5.05±1.48 ^b	1.32±0.55 ^b	5.86±1.78 ^b	14.25±1.67 ^b
2 month	7.68±1.77 ^a	6.03±1.73 ^a	1.48±0.97 ^a	9.35±1.11 ^a	19.05±2.26 ^a
3 month	8.64±1.42 ^a	6.53±1.08 ^a	1.55±1.44 ^a	10.86±2.46 ^a	19.71±2.51 ^a
Diet (Factor B)					
Basal diet	0.32±0.27 ^b	1.26±0.35 ^b	1.22±0.19 ^c	1.89±0.64 ^b	7.41±2.44 ^c
Basal diet + beta-carotene	0.32±0.22 ^b	1.24±0.65 ^b	3.29±1.17 ^a	1.76±0.43 ^b	10.07±2.64 ^b
Basal diet + canthaxanthin	0.31±0.08 ^b	28.51±2.10 ^a	0.53±0.02 ^c	1.30±0.13 ^c	7.18±0.53 ^c
Basal diet + astaxanthin	37.70±2.11 ^a	1.41±0.65 ^b	0.84±0.33 ^d	0.93±0.39 ^{cd}	5.97±1.69 ^c
Basal diet + lutein	0.31±0.03 ^b	1.25±0.57 ^b	1.10±0.11 ^c	43.36±2.11 ^a	6.92±1.77 ^c
Basal diet + zeaxanthin	0.64±0.10 ^b	1.56±0.46 ^b	1.73±0.36 ^b	0.87±0.23 ^d	68.47±3.65 ^a
P value Two-way ANOVA					
Factor A	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000
Factor B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Factor A * Factor B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (P>0.05)



ภาพที่ 4 ปริมาณแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ ได้แก่ แอสตาแซนทิน (A), แคนทาแซนทิน (B), เบต้าแคโรทีน (C), ลูทีน (D) และ ซีแซนทิน (E) ที่สะสมบริเวณผิวหนังปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารชุดควบคุม (1) อาหารที่เสริมเบต้าแคโรทีนสังเคราะห์ (2) แคนทาแซนทินสังเคราะห์ (3) แอสตาแซนทินสังเคราะห์ (4) ลูทีนสังเคราะห์ (5) และซีแซนทินสังเคราะห์ (6) ระยะเวลา 3 เดือน

คุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำในตู้เลี้ยงปลามีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-28 องศาเซลเซียส ออกซิเจนละลายน้ำ 6.27-6.50 mg/l ความเค็ม 26-30 พีพีที ความเป็นกรดเป็นด่าง 7.8-8.0 ความเป็นด่าง 89-110 mgCaCO₃/l แอมโมเนียรวม 0.11-0.15 mg/l และไนไตรท์ 0.055-0.088 mg/l

สรุป

การเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ชนิดต่างๆ ในอาหารปลาการ์ตูนแดง พบว่าไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต อัตรารอดและอัตราแลกเนื้อ แต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีบริเวณผิวหนังปลา การเสริมแอสตาแซนทินสังเคราะห์ช่วยเพิ่มสีของปลาการ์ตูนแดงได้ดีที่สุด เพราะเมื่อเสริมแอสตาแซนทินในอาหารทำให้ความเข้มของสีแดง บริเวณผิวหนังปลามีค่ามากกว่าทุกชุดการทดลอง และมีการสะสมของแอสตาแซนทินบริเวณผิวหนังปลาเพิ่มมากที่สุดด้วยเช่นกัน และเมื่อพิจารณาถึงผลของระยะเวลาในการเสริมแคโรทีนอยด์ในอาหารพบว่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและอัตราการตายของปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมแคโรทีนอยด์มีค่าลดลง และอัตราแลกเนื้อมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเสริมที่นานขึ้น ส่วนค่าความสว่างพบว่ามีค่าลดลงเช่นกัน แต่ค่าในเดือนที่ 2 และ 3 ไม่แตกต่างกัน ขณะที่ค่าความเข้มเฉดสีแดง ความเข้มเฉดสีเหลือง ปริมาณแคโรทีนอยด์รวม ชนิดและปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สะสมบริเวณผิวหนังปลามีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเสริมที่นานขึ้น แต่ในเดือนที่ 2 และ 3 มีค่าไม่แตกต่างกัน การทดลองนี้สรุปได้ว่าปลาการ์ตูนแดงที่ได้รับอาหารเสริมแอสตาแซนทินสังเคราะห์ เป็นเวลา 2 เดือน ทำให้มีการเพิ่มของสีแดงบริเวณผิวหนังปลามากที่สุด เมื่อทราบว่าการเลี้ยงปลาการ์ตูนแดงสามารถใช้แหล่งแคโรทีนอยด์จากแอสตาแซนทิน แนวทางการศึกษาจะหาแหล่งสารสีจากธรรมชาติมาทดแทนสารสีสังเคราะห์ เพื่อประหยัดต้นทุนการผลิตอาหารปลาเพื่อเพิ่มสีต่อไปในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

เมื่อทราบว่าการเลี้ยงปลาการ์ตูนแดงสามารถใช้แหล่งแคโรทีนอยด์จากแอสตาแซนทิน แนวทางการศึกษาต่อไปจะหาแหล่งสารสีจากธรรมชาติมาทดแทนสารสีสังเคราะห์ เพื่อประหยัดต้นทุนการผลิตอาหารปลาเพื่อเพิ่มสีต่อไปในอนาคต และศึกษาความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสมของการเสริมแอสตาแซนทินสังเคราะห์ในปลาการ์ตูนแดงเพื่อประหยัดเวลาในการเลี้ยงและประหยัดต้นทุนได้อีกทางหนึ่งด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิทยานิพนธ์ในระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอาหารสัตว์น้ำชลบุรี และภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่อำนวยความสะดวกในการทดลอง

รายการอ้างอิง (References)

- Amar, E.C., Kiron, V., Satoh, S. & Watanabe, T. (2001). Influence of various dietary synthetic carotenoids on bio-defence mechanisms in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research*, 32, 162-163.
- APHA, AWWA & WPCF. (1985). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (16th ed.). Washington, D.C.: American Public Health Association.



- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2005). Animal feed. In: Horwitz, W.(Ed.), *Official Methods of Analysis of AOAC International*, (18th ed.) AOAC International, Maryland, 1-48.
- Boonyaratpalin, M., Thongrod, S., Supamattaya, K., Britton, G. & Schlipalius, L. E. (2001). Effects of B-carotene source, *Dunaliella salina*, and astaxanthin on pigmentation, growth, survival and health of *Penaeus monodon*. *Aquaculture Research*, 31, 182-190.
- Britton, G., Liaaen-Jensen, S. & Pfander, H. (1995). Carotenoids Vol.1B. Spectroscopy. *Birkhauser Verlag*, 360.
- Chatzifotis, S., Pavlidis, M., Jimeno, C., Vardanis, G., Sterioti A. & Divanach, P. (2005). The effect of different carotenoid sources on skin coloration of cultured red porgy (*Pagrus pagrus*). *Aquaculture Research*, 36, 1517-1525.
- Choubert, G. & Luquet, P. (1983). Utilization of shrimp shell meal for rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.) pigmentation. Influence fat content of the diet. *Aquaculture*, 32, 19-26.
- Christiansen, R. & Torrissen, O.J. (1996). Growth and survival of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. fed different dietary levels of astaxanthin. Juveniles. *Aquaculture Nutrition*, 2, 55-62.
- Doolan, B. J., Booth, M. A., Jones, P. L., & Allan, G. L. (2008). Effects of dietary astaxanthin concentration and feeding period on the skin pigmentation of Australian snapper (*Pagrus auratus*) (Bloch & Schneider, 1801). *Aquaculture Research*, 40, 60 - 68.
- Fenner, B. (2005). *Premnas biaculeatus* - The Maroon Clownfish. *SeaScope, Aquarium Systems, Inc.*, 22(1), 1-3.
- Gomes, E., Dias, J., Silva, P., Valente, L., Empis, J., Gouveia, L., et al. (2002). Utilization of natural and synthetic source of carotenoids in the skin pigmentation of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *European Food Research and Technology*, 214, 287-293.
- Goodwin, T.W. (1951). *Carotenoids in fish*. New York: Chen. Publ. Co. Inc.
- Ho, A. L. F. C., Shea, O. S. K. & Pomeroy, H. F. (2013). Dietary esterified astaxanthin effects on color, carotenoid concentrations, and compositions of clown anemonefish, *Amphiprion ocellaris*, skin. *Aquaculture International*, 21, 361-374.
- Hoar, W.S. & Randall, D. J. (1989). *Fish Physiology III*. New York: Academic Press.
- Idahah, Y. & Jian, G. Q. (2010). Effect of Dietary Carotenoids on Skin Color and Pigments of False Clownfish, *Amphiprion ocellaris*, Cuvier. *World Aquaculture Society*, 41, 308-318.
- Kanokrungr, A., Watanadilok, R., Muthuwan, V. & Santawanpas, S. (2013). Effects of dietary protein, lipid and astaxanthin levels on growth and carotenoid accumulation in anemone fish, (*Amphiprion ocellaris*). *Journal of Science, Technology, and Humanities*, 11(2), 95-103
- Katayama, T., Shintani, K. & Chichester, C.O. (1973). The biosynthesis of astaxanthin. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 44B, 253 - 257.
- Lakehi, A. B., Ahmadi, M. R., Safi, S., Ytrestoyl, T. & Bjerkeng, B. (2010). Growth performance, mortality and carotenoid pigmentation of fry offspring as affected by dietary supplementation of astaxanthin to female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) broodstock. *Applied Ichthyology*, 26, 35-39.



- Miki W. (1991). Biological functions and activities of animal carotenoids. *Pure and Applied Chemistry*, 63, 141-146.
- Seyedi, S.M., Sharifpour, I., Ramin, M. & Jamili, S.H. (2013). Effect of Dietary Astaxanthin on Survival, Growth, Pigmentation Clownfish, *Amphiprion ocellaris*, Cuvier. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 3(3), 391-395.
- Strickland, J. D. H. & Parsons, T. R. (1972). A Practical Handbook of Seawater Analysis. (2nd ed.). Ottawa: Fisheries Research Board of Canada.
- Torrissen, O. J., Hardy, R. W. & Shearer, K. D. (1989). Pigmentation of salmonids-carotenoid deposition and metabolism. *Reviews in Aquatic Science*, 1, 209-225.
- Yeum, K. J. & Russell, R. M. (2002). Carotenoid bioavailability and bioconversion. *Annual Review of Nutrition*, 22, 483-504.
- Yi-Juan Wang, Yew-Hu Chien & Chih-Hung Pan. (2006). Effects of dietary supplementation of carotenoids on survival, growth, pigmentation, and antioxidant capacity of characins, *Hyphessobrycon callistus*. *Aquaculture*, 261, 641-648.
- Yuangsoi, B., Jintasataporn, O., Tabthipwon, P. & Kamel, C. (2010). Utilization of Carotenoids in Fancy Carp (*Cyprinus carpio*): Astaxanthin, Lutein and β -carotene. *World Applied Sciences*, 11(5), 590-598.