دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
بهره‌برداری و پرورش آبزیان
جلد ششم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۶
http://japu.gau.ac.ir

نقش عوامل تغذیه‌ای و گوارشی در میزان رنگزایی کاروتنوئیدها در آبزیان

احمد اسلامی‌فر*
گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۳۰

چکیده

محصولات آبزی پروری با کیفیت می‌بایست شرایط متعددی را داشته باشند تا از طرف مصرف‌کنندگان مقبولیت پیدا کنند. از جمله این شرایط رنگ مناسب است. در ماهیان رنگ نقشی فراتر از جنبه‌های ظاهری و زیبایی دارد، مصرف‌کنندگان رنگ طبیعی را مقارن با سلامتی و کیفیت بالای محصول می‌دانند. در ماهیان زینتی نیز رنگ پوست یک عامل مؤثر بر قیمت بازاری ماهی می‌باشد و نقش مهمی در تخمین ارزش کلی آن ایفا می‌کند. در شاخه حیوانات، کاروتنوئیدها بعد از ملانین‌ها رایج‌ترین رنگدانه‌ها هستند. ماهیان مانند سایر جانوران قادر به سنتز خود به خودی کاروتنوئیدها نیستند و بر منابع خوراکی خود برای دستیابی به رنگدانه‌ها تکیه دارند تا رنگ خود را حفظ کنند. رنگ درخشان و طبیعی آبزیان تحت شرایط پرورشی و اسارت از بین می‌رود. در پرورش ماهیان خوراکی یا ماهیان زینتی که تغذیه ماهیان با خوراک‌های فرموله انجام می‌شود رنگدانه‌های موردنیاز به جیره‌های غذایی اضافه می‌شوند. از طرف دیگر تغییر رنگ یک فرآیند پرهزینه در پرورش آبزیان محسوب می‌گردد و باید در طول چرخهٔ تولید صورت پذیرد از این‌رو شناخت عوامل مؤثر بر رنگزایی رنگدانه‌های کاروتنوئید ضرورت دارد. عوامل اصلی که بر تثبیت کاروتنوئیدها اثر می‌گذارند عبارتند از: جیره غذایی، هضم کاروتنوئیدها، جانور و محیط. در بعد تغذیه‌ای و گوارشی این عوامل شامل میزان غذا، ترکیبات جیره غذایی، ماتریکس ماده مغذی حاوی رنگدانه، زمان غذادهی، وعده‌های غذایی، دستگاه گوارش و فرآیندهای متابولیسمی که هر کدام اثرات متفاوتی در میزان رنگزایی کاروتنوئیدها نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: آبزیان، کاروتنوئیدها، رنگزایی، عوامل تغذیه‌ای و گوارشی

مقدمه

در چند دهه اخیر رشد قابل ملاحظه‌ای در صنعت آبزی پروری وجود داشته (۹/۲ درصد در سال از ۱۹۷۰) است که علت آن ثابت ماندن مقدار صید آبزیان و ظرفیت محدود ذخایر آبزیان در مقابل افزایش جمعیت انسانی و افزایش مصرف جهانی ماهی می‌باشد که در ۵۰ سال گذشته به دو برابر رسیده است (دلگادو و همکاران، ۲۰۰۳). علاوه‌بر عوامل فوق، نقش آبزی پروری در تأمین محصولات غذایی سالم، مغذی و با کیفیت نیز در رشد صنعت

*مسئول مکاتبه: eslamifarahmad@gmail.com

آبزی پروری مؤثر می‌باشد. محصولات آبزی پروری با کیفیت می‌بایست شرایط متعددی را داشته باشند تا از طرف مصرف‌کنندگان ارزشمند باشند و مقبولیت پیدا کنند. از جمله این شرایط رنگ مناسب است که در بین پارامترهای کیفی ماهیان مهمترین عامل در بازار آن‌ها می‌باشد. رنگ اولین ویژگی است که مشتری دریافت می‌کند و عامل تعیین کننده در انتخاب خریدار است که مستقیماً منجر به پذیرش یا عدم پذیرش محصول از طرف او می‌گردد (شهیدی و همکاران، ۱۹۹۸). از گذشته تا کنون این عقیده وجود داشته که رنگ خوب توأم با مزهٔ بهتر می‌باشد (کلایدسال، ۱۹۹۳؛ سیلویا و همکاران، ۱۹۹۵). در ماهیان رنگ نقشی فراتر از جنبه‌های ظاهری و زیبایی دارد، مصرف‌کنندگان رنگ طبیعی را مقارن با سلامتی و کیفیت بالای محصول می‌دانند. به‌عنوان مثال رنگ گوشت در آزاد ماهیان به‌عنوان مهمترین عامل کیفی بعد از تازگی گوشت در نظر گرفته می‌شود (کوتنگ، ۱۹۹۲). فارغ از رنگ گوشت، خوش رنگی پوست نیز در ماهیان پرورشی با پوست زرد و قرمز، مثل شانک ماهی دریایی قرمز *Pagrus pagrus* (باسورکو و همکاران، ۱۹۹۹) سیم دریایی قرمز ژاپنی *Pagrus major* (لین و همکاران، ۱۹۹۸) ، سرخو استرالیایی *Pagrus auratus* (باس و همکاران، ۲۰۰٤) و ماهی دم زرد *Seriola quinqueradiata* (میکی و همکاران، ۱۹۸۵) خیلی ارزشمند است و منجر به افزایش قیمت آن‌ها در بازار می‌گردد (جدول ۱). در ماهیان زینتی نیز رنگ پوست یک عامل مؤثر بر قیمت بازاری ماهی است و نقش مهمی در تخمین ارزش کلی آن ایفا می‌کند (گوویه و رما، ۲۰۰۵). در سخت پوستان مثل میگو، رنگ روشن و مناسب نشانه تازگی و کیفیت محصول است و رنگ آن‌ها باید در زمان نگهداری، عمل آوری و پخت میگو حفظ شود (بونیاراتپالین و همکاران، ۲۰۰۱). در توتیای دریایی (خیار دریایی) که اساس تجارت آن بر تولید گناد مرغوب و قابل فروش است، بالاترین قیمت گناد مربوط به گنادهای زرد- نارنجی روشن می‌باشد (اشپیگل و همکاران، ۲۰۰٤).

در شاخه حیوانات کاروتنوئیدها بعد از ملانین‌ها رایج‌ترین رنگدانه‌ها هستند که مسئول ایجاد این رنگ‌ها و بالا رفتن کیفیت در محصولات می‌گردند. بی‌مهرگان و غالب مهره‌داران تنوع زیادی را در کاروتنوئیدها نشان می‌دهند و قادرند ساختمان مولکولی کاروتنوئیدهای جیره غذایی شان را تغییر دهند، در حالی که در پستانداران حضور و توزیع کاروتنوئیدها خیلی محدود است (شیدت، ۱۹۹۸). ماهیان مثل سایر جانوران قادر به سنتز خود به خودی[1] کاروتنوئیدها نیستند (گودوین، ۱۹۸٤) و بر منابع خوراکی خود برای دستیابی به کاروتنوئیدها و سایر رنگدانه‌ها تکیه دارند تا رنگ خود را حفظ کنند (وانگ و همکاران، ۲۰۰٦). رنگ درخشان و طبیعی آبزیان تحت شرایط پرورشی و اسارت از بین می‌رود (کالینوسکی و همکاران، ۲۰۰۵؛ پاولیدیس و همکاران ۲۰۰٦). در پرورش ماهیان خوراکی یا ماهیان زینتی که تغذیه ماهیان با خوراک‌های فرموله انجام می‌شود، رنگدانه‌های موردنیاز به جیره‌های غذایی اضافه می‌شوند. تغییر رنگ یک فرآیند پرهزینه در پرورش آبزیان محسوب می‌گردد و باید در طول چرخهٔ تولید صورت پذیرد. بنابراین با توجه به هزینه بالای ایجاد و حفظ کیفیت رنگ در آبزیان و همچنین اهمیت رنگ در کیفیت و ارزش اقتصادی تولیدات آبزی پروری، مطالعه و شناخت عوامل مؤثر بر رنگزایی رنگدانه‌های کاروتنوئیدی اهمیت بسیار زیادی دارد. مطالعات زیادی در مورد افزودن رنگدانه‌های کاروتنوئیدی به جیره غذایی آبزیان صورت گرفته است. از منابع دارای این رنگدانه‌ها می‌توان به مخمر، باکتری‌ها،

1- *De novo*

جلبک‌ها، گیاهان عالی و پودر سخت پوستان اشاره نمود (شهیدی و همکاران، ١٩٩٨؛ کالینوسکی و همکاران، ٢٠٠٥) (جدول ٢). با توجه به اهمیت ذکر شده در مورد کیفیت رنگ در آبزیان، در این مطالعه مکانیسم اثر عوامل مختلف در رنگزایی رنگدانه‌های کاروتنوئیدی مورد بررسی واقع شده است.

جدول ١- بازدهٔ گیاهان عالی مورد استفاده در تجمع کاروتنوئیدها در برخی ماهیان.

نام گونه	گیاه عالی	نوع رنگدانه گیاه	رنگدانهٔ مورد مقایسه	کارآیی تجمع رنگدانه	منبع
قزل‌آلای رنگین‌کمان	گل همیشه بهار[1]	کاروتنوئید	(AX)	گل همیشه بهار<AX	Yanar et al., 2007
قزل‌آلای رنگین‌کمان	فلفل قرمز[2]	کاروتنوئید	(AX)	فلفل قرمز< AX	Yanar et al., 2007
قرمز طلایی	یونجه	کاروتنوئید	(AP)	١٥ درصد یونجه= ٦٠ میلی‌گرم آپواستر	Yanar et al., 2008
گورامی کوتوله	چغندر قند[3]	بتالایین	(LP)	چغندر قند < LP	Baron et al., 2008
گورامی کوتوله	هویج سیاه	آنتوسیانین	(LP)	هویج سیاه < LP	Baron et al., 2008

AX (آستاگزانتین)، LP (لوکانتین صورتی)، AP (آپو استر)

٢- کاروتنوئیدها: کاروتنوئیدها ترکیبات خیلی شایعی هستند که در تمام گیاهان و جانوران وجود دارند و توجه دانشمندان را از دهه ١٩٥٠ به خود جلب کرده‌اند (چوبرت و همکاران، ١٩٩٩). نام کاروتنوئید از نام علمی هویج *Daucus carota* مشتق شده که حاوی رنگدانه کاروتن می‌باشد (احمدی، ١٣٨٦). عامل ایجاد رنگ در کاروتنوئیدها، پیوندهای دو گانه مزدوج در آنان می‌باشد (نصری، ١٣٨٧). کاروتنوئیدها ترکیبات زنجیره‌ای با پیوندهای دوگانه متناوب هستند که مولکول آن‌ها ازهشت زنجیره ایزوپرنیک[4] که به‌صورت متقارن در اطراف یک پیوند دوگانه مرکزی، ایجاد می‌شود که یک تتراترپن[5] را می‌سازد. (یک ترپن مولکولی با ١٠ اتم کربن است). بنابراین یک تتراترپن مولکولی با ٤٠ اتم کربن است. تعداد پیوندهای دوگانه متناوب بین ٧ تا ١٥ عدد متغییر است که معمولاً در کاروتنوئیدهای ماهیان ١١ عدد می‌باشد. ساختمان ذیل ساده‌ترین شکل یک کاروتنوئید می‌باشد (شکل ١).

اگرچه کاروتنوئیدها اغلب در غلظت‌های پایین وجود دارند ولی تولید کل آن‌ها در طبیعت بالغ بر ١٠٠ میلیون تن در سال تخمین زده شده است که به‌طور عمده از طریق چرخه فتوسنتز ساخته و به‌طور متوالی در برگ‌ها، جلبک‌ها و زئوپلانکتون‌ها ذخیره می‌شوند (احمدی، ١٣٨٦).

بهر حال بیش از ٦٠٠ کاروتنوئید در طبیعت یافت شده است که تنها از تعداد کمی از آن‌ها در غذای جانوران، مواد آرایشی، رنگدانه‌های خوراکی و مواد دارویی استفاده می‌شود (کوپ و دورماز، ٢٠٠٨). از جمله این کاروتنوئیدها می‌توان به آستاگزانتین، کانتاگزانتین، لوتئین، کاپسانتین[6]، اتیل استر[7]، کریپتوگزانتین[8]، زی گزانتین، سیترانا گزانتین[9]، B –

1- Marigold flower (*Tagetes erecta*)
2- Red pepper (*Capsicum annum*)
3- Beetroot
4- Isoprenic
5- Tetraterpene
6- Capsanthin
7- Ethyl ester
8- Cryptoxanthin
9- Citranaxanthin

آپو –َ۸– کاروتنال[1] و B– آپو–َ۸– کاروتنوئید اسید[2] اشاره نمود. رنگدانه‌های آستاگزانتین، کانتاگزانتین و لوتئین از جمله مهمترین رنگدانه‌ها در این گروه محسوب می‌شوند.

۳– رنگزایی کاروتنوئیدها: برای پرورش‌دهندگان و کارخانجات تولید غذای آبزیان، مهمترین نکته در ارتباط با رنگدانه‌های کاروتنوئیدی، کارآیی رنگزایی آن‌ها می‌باشد. این موضوع از طریق ساختمان، رنگ ویژه، قابلیت هضم، تبدیلات متابولیسمی و ظرفیت ویژه ذخیره رنگدانه در بافت خاص تبیین می‌گردد (چوبرت و همکاران، ۱۹۹۹).

٤– عوامل مؤثر بر میزان رنگزایی کاروتنوئیدها در آبزیان: سهم نسبی کاروتنوئیدهای موجود در اندام‌ها و بافت‌ها و همچنین اشکال مختلف آن‌ها بسیار متغیر است و به عوامل متعددی بستگی دارد. عوامل اصلی که بر تثبیت کاروتنوئیدها اثر می‌گذارند عبارتند از جیره غذایی (عوامل تغذیه‌ای)، هضم کاروتنوئیدها (عوامل گوارشی)، جانور و محیط می‌باشد. عوامل تغذیه‌ای نیز به نوعی با اثر بر قابلیت هضم در رنگزایی کاروتنوئیدها نقش دارند و چون به غذا و مدیریت تغذیه مربوط می‌شود تحت عنوان عوامل تغذیه‌ای یاد می‌شود. در ادامه به بررسی عوامل تغذیه‌ای و عوامل گوارشی می‌پردازیم.

٤–۱– عوامل تغذیه‌ای

٤–۱–۱– میزان غذا

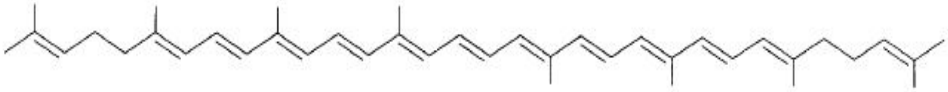
در آزمایشی که در مورد هضم رنگدانه آستاگزانتین در ماهی آزاد اطلس در ارتباط با مصرف غذا صورت گرفت مقدار مصرف غذا در دامنه‌ای بین ۰/۲ الی ۱/۵ درصد تأثیر معنی‌داری بر قابلیت هضم ظاهری آستاگزانتین نداشت (وای ترستویل و همکاران، ۲۰۰۵).

1- β-Apo-8´-carotenal
2- β-Apo-8´–carotenoic acid

٤–۱–۲– ترکیبات جیره غذایی

در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، افزایش مقدار چربی جیره باعث افزایش هضم ظاهری رنگدانه کانتاگزانتین می‌شود (توررییسن و همکاران، ۱۹۹۰). البته این رابطه به‌طور قطعی مشخص نشده چرا که در برخی مطالعات، هیچ اثر معنی‌دار مقدار چربی جیره بر ذخیره‌سازی کاروتنوئیدها در عضله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان مشاهده نشده است (عبدالمالک و همکاران، ۱۹۷۵). برعکس در مطالعات بعدی، افزایش مقدار چربی جیره با ازدیاد ۳۳ درصدی ذخیره کاروتنوئیدها در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان همراه بوده است (توررییسن و همکاران، ۱۹۹۹). روغن ماهیان گوناگون با نقاط ذوب مختلف و پروفیل‌های متفاوت اسید چرب نیز می‌توانند بر تثبیت رنگدانه آستاگزانتین مؤثر باشند. اسیدهای چرب جیره غذایی بر کیفیت رنگ برخی ماهیان مؤثر نشان داده شده است. در تغذیه لارو ماهی فلاندر دم زرد[3] با اسیدهای چرب دی‌کوزا هگزانوئیک[4]، آراشیدونیک[5] و مخلوط هر دو اسید چرب، پس از فرآیند متامورفیسم، رنگ‌بندی نامناسبی در لاروهای تغذیه شده با مقادیر زیاد اسید آراشیدونیک مشاهده گردید که بیان می‌کند نوع اسید چرب می‌تواند برکیفیت رنگ‌بندی در این ماهی مؤثر باشد (کوپ من و همکاران، ۲۰۰۲). ترکیب ویتامین E (آلفاتوکوفرول استات[6]) نیز در جیره‌های حاوی رنگدانه آستاگزانتین در ماهی آزاد اطلس باعث بهبودی ذخیره‌سازی کاروتنوئید و رنگ فیله ماهی می‌شود که اثر آن نسبتاً کم است (بیجرکنگ و همکاران، ۱۹۹۹آ).

3- *Limanda ferruginea*
4- Docosahexaenoic acid (DHA)
5- Arachidonic acid(AA)
6- α-tocopheryl acetate



شکل ١- ساختار شیمیایی ساده کاروتنوئید لیکوپن (شهیدی و همکاران، ١٩٩٨).

از ترکیبات دیگری که ممکن است در جیره‌های غذایی استفاده شوند آنتی‌بیوتیک‌ها هستند. در بررسی دیگری، سطوح یکسانی از کانتاگزانتین را در جیره‌های غذایی مختلف از نظر سطح چربی (کم یا زیاد) برای ماهی قزل‌آلای رنگین کمان استفاده کرده و ترکیبات آنتی‌بیوتیکی (٠/٨ گرم در کیلوگرم فلامکوئین[1] به‌علاوه ٣/٤٥ گرم در کیلوگرم جنتومایسین[2]) را نیز در جیره به‌کار بردند که نتایج حاکی از بیشتر بودن قابلیت هضم ظاهری کانتاگزانتین در جیره‌های غنی از چربی فاقد و یا دارای آنتی‌بیوتیک نسبت به جیره‌های غذایی با چربی کم و حاوی یا فاقد آنتی‌بیوتیک بود. در این مطالعه مکمل‌های آنتی‌بیوتیکی، هضم ظاهری چربی را در جیره‌های غنی از چربی بهبود بخشیدند اما مقدار آن به اندازه کافی نبود؛ از این طریق افزایش خفیفی در هضم ظاهری کانتاگزانتین را نشان دادند (چوبرت و همکاران، ١٩٩١). در پستانداران آنتی‌بیوتیک‌ها فرآیندهای میکروبی را به تعویق می‌اندازند، ضخامت دیواره روده را کاهش و جذب مواد مغذی را آسان می‌سازند (اسکریم شاو و همکاران، ١٩٥٤). اما در ماهیان که تنها جمعیت‌های باکتریایی کمی در روده خود دارند (10^6 تا 10^7 واحد در هر گرم از روده)، آنتی‌بیوتیک‌ها به‌خاطر برخی مکانیسم‌هایی که تاکنون شناخته نشده است باعث جذب شدیدتر چربی‌ها در روده می‌شوند که نیاز به بررسی بیشتری در این زمینه احساس می‌شود (چوبرت و همکاران، ١٩٩١).

٤-١-٣- ماتریکس مادهٔ مغذی در برگیرندهٔ رنگدانه‌ها

در رابطه با دسترسی و هضم کاروتنوئیدها، ماتریکس یا قالب مادهٔ در برگیرندهٔ کاروتنوئید مؤثر می‌باشد. ماتریکس بسیار سخت و پایدار یک مادهٔ حاوی کاروتنوئید، رنگدانه را در حین ساخت و انبارداری غذا، از تجزیه و نابودی حفظ می‌کند در حالی‌که می‌تواند جلوی هضم آسان آن را در روده بگیرد (بیجرکنگ و همکاران، ٢٠٠٧). مطالعه‌ای که در مورد هضم و تثبیت عضلانی آستاگزانتین موجود در مخمر قرمز[3] در مقایسه با آستاگزانتین مصنوعی موجود در لوکانتین صورتی[4] در ماهی آزاد اطلس[5] صورت گرفت، نشان داد هضم آستاگزانتین مخمر قرمز از آستاگزانتین مصنوعی لوکانتین صورتی در این ماهی بالاتر است. در بررسی میکروسکوپی مدفوع این ماهیان، آن تعداد از سلول‌های مخمر قرمز که دیواره خراشیده و شکاف خورده داشتند فاقد آستاگزانتین یا میزان کم آستاگزانتین بودند. این امر بر واسرشتگی و خراش در دیواره سلولی این مخمر برای هضم آسان تر آستاگزانتین در دستگاه گوارش ماهی تأکید می‌کند (بیجرکنگ و همکاران، ٢٠٠٧).

1- Flumequine
2- Gentomycine
3- *Phaffia rhodozyma*(red yeast)
4- Lucantin pink
5- *Salmo salar*

جدول ۲- بازدهٔ ترکیبات جیره غذایی در تجمع کاروتنوئیدها و رنگ‌بندی در برخی ماهیان.

نام گونه	ماده غذایی	هدف	رنگدانه	اثر در رنگدانه	منبع
قزل‌آلای رنگین‌کمان	چربی	اثر سطوح چربی در افزایش کاروتنوئید	کانتاگزانتین	افزایش	توررییسن و همکاران، ۱۹۹۰
قزل‌آلای رنگین‌کمان	روغن ماهیان	اثر چربی‌ها با نقاط ذوب مختلف در افزایش کاروتنوئیدها	آستاگزانتین	روغن ماهیان پرو و کاپلین به‌ترتیب بهتر از سایر چربی‌ها	بیجرکینگ و همکاران، ۱۹۹۹ب
فلاندر دم زرد	اسیدهای چرب	اثر اسیدهای چرب در کیفیت رنگبندی	*	کارایی بهتر دی کوزا هگزانوئیک اسید نسبت به آراشیدونیک اسید	کوپ من و همکاران، ۲۰۰۲
ماهی آزاد اطلس	ویتامین E	اثر سطوح مختلف در افزایش کاروتنوئید	آستاگزانتین	افزایش	بیجرکینگ و همکاران، ۱۹۹۹آ
قزل‌آلای رنگین‌کمان	آنتی‌بیوتیک	اثر ترکیب آنتی‌بیوتیکی در هضم کاروتنوئید	کانتاگزانتین	افزایش خفیف رنگدانه از طریق افزایش جذب چربی	چوبرت و همکاران، ۱۹۹۱

٤-١-٤- زمان یا دوره غذادهی

با افزایش تعداد روزهای غذادهی با جیره‌های حاوی رنگدانه‌های کاروتنوئیدی میزان رنگدانهٔ بدن قزل‌آلای رنگین‌کمان افزایش یافت (توررییسن، ۱۹۸۹). میزان کاروتنوئید در فیلهٔ ماهی چار نیز با افزایش دورهٔ تغذیه با مکمل‌های کاروتنوئیدی خوراکی بیشتر شد (ایزکوئیردو و همکاران، ۲۰۰۵). در ماهی سیم قرمز دریایی نیز با افزایش دورهٔ تغذیه با جیره‌های حاوی رنگدانهٔ طبیعی پوست میگو، افزایش غلظت کاروتنوئید پوست گزارش شده است (کالینوسکی و همکاران، ۲۰۰۷).

٤-١-٥- وعده‌های غذایی متناوب یا پیوسته رنگدانه‌دار (برنامه غذایی)

جیره‌های خوراکی دارای آستاگزانتین و فاقد آستاگزانتین در برنامه‌های غذایی تنظیم شده به‌صورت پی در پی و متناوب (یک در میان) بر ذخیره‌سازی رنگدانه در ماهی آزاد اطلس مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه مشخص شد که حداکثر ذخیره‌سازی رنگدانه از طریق تغذیه مداوم جیره‌های دارای آستاگزانتین نسبت به تغذیه متناوب جیره‌های دارای آستاگزانتین حاصل می‌شود (واتنه و همکاران، ۱۹۹۸).

اگر تامین کانتاگزانتین خوراکی در ماهی قزل‌آلا متوقف شود رنگ ماهی تأثیر می‌پذیرد و میزان آن کاهش می‌یابد. این پدیده در ماهیان با تغذیه دائم از غذای بدون رنگدانه نسبت به ماهیانی که به‌صورت متناوب یا چند روز به چند روز غذادهی[1] می‌شوند واضح تر مشاهده می‌شود (شکل ۹). این موضوع خبر از توزیع مجدد کانتاگزانتین از یک بافت به بافت دیگر می‌دهد و نیمه عمر آن در بافت عضله در مقایسه با سایر بافت‌ها بیشتر گزارش شده است (چوبرت، ۱۹۸۵).

٤-٢- عوامل گوارشی

٤-٢-١- دستگاه گوارش

جذب کاروتنوئیدها در روده یک فرآیند نسبتاً آرام است و حداکثر میزان آن در پلاسما ۳۰-۱۸ ساعت پس از جذب می‌باشد (مالت بای و همکاران، ۲۰۰۳). قسمت ابتدایی روده مکان اصلی جذب کاروتنوئیدها می‌باشد (توررییسن و همکاران، ۱۹۹۰). مکانیسم جذب کاروتنوئیدها در سطح سلول از طریق کشت سلولی بررسی شده است. فرآیندهای جذب و ترشح سلولی، بستگی به غلظت رنگدانه، تفاوت بین

1- Fasting

ایزومرهای یک نوع کاروتنوئید در جذب، جذب متمایز کاروتنوئیدهای مختلف و واکنش بین آن‌ها در طول انتقال توسط سلول‌ها دارد، که این موضوع، بر انتخابی بودن جذب کاروتنوئیدها و امکان مشارکت انتقال دهنده‌های اپیتلیال اختصاصی حکایت دارد. در صورت اثبات وجود چنین انتقال دهنده‌هایی در روده انسان، یک تغییر نگرش علمی در مورد تحقیقات مربوط به کاروتنوئیدها ایجاد خواهد شد (دیورینگ و هریسن، ٢٠٠٤). نسبت آستاگزانتین به کانتاگزانتین در دستگاه گوارش از معده به سمت زواید باب‌المعده در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان کاهش می‌یابد (توررریسن، ١٩٨٩). بنابراین جدا از این‌که جذب کاروتنوئیدها می‌تواند انتخابی یا رقابتی باشد، نشان دهندهٔ توانمندی متفاوت قسمت‌های مختلف دستگاه گوارش در جذب کاروتنوئیدها می‌باشد.

٤-٢-٢- فرآیندهای متابولیسمی

عامل دیگری که در ارتباط با تجمع کاروتنوئیدها و کارآیی رنگزایی آن‌ها در آبزیان وجود دارد، تبدیلات متابولیکی آن‌هاست. عواملی که سوخت و ساز را کنترل می‌کنند و مسیرهایی که طی آن، متابولیت‌ها ترشح می‌شوند، باید تعیین گردند (بیجرکنگ و همکاران، ٢٠٠٧). در برخی موارد متابولیت‌هایی، مثل ویتامین A تولید می‌شوند، که رنگزایی ندارند.

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت رنگ و لزوم حفظ و ایجاد رنگ از طریق غذا در آبزیان و همچنین اهمیت بالای مدیریت اقتصادی تغذیه و کیفیت آبزی پروری در مورد استفاده از رنگدانه‌های طبیعی و مصنوعی، آگاهی از عوامل مؤثر بر رنگزایی رنگدانه‌ها در افزایش عملکرد رنگدانه‌ها بسیار مفید می‌باشد. در بعد تغذیه‌ای و گوارشی این عوامل شامل میزان غذا، ترکیبات جیره غذایی، ماتریکس ماده مغذی حاوی رنگدانه، زمان غذادهی، وعده‌های غذایی، دستگاه گوارش و فرآیندهای متابولیسمی می‌باشد.

منابع

1. Abdul-Malak, N., Zwingelstein, G., Jouanneteau, J., and Koenig, J. 1975. Influence de certains facteurs nutritionnels sur la pigmentation de la truite arc-en-ciel par la canthaxanthine. Ann Nutr Aliment. 29: 459–475.
2. Ahmadi, S. 2007. Study of important carotenoids and utilization in aquaculture. Seminar of master students. Tehran university. Faculty of natural resources. Department of food sciences and industries. 90.
3. Basurco, B., and Abellán, E. 1999. Finfish species diversification in the context of the Mediterranean marine fish farming development. Cahiers Options Méditerranéennes, Ser. B: Etudes et Recherches, 24: 9-25.
4. Bjerkeng, B., Hamre, K., Hatlen, B., and Wathne, E. 1999b. Astaxanthin deposition in fillets of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed two dietary levels of astaxanthin in combination with three levels of á-tocopheryl acetate. Aquaculture Research. 30: 637-646.
5. Bjerkeng, B., Hatlen, B., and Wathne, E. 1999a. Deposition of astaxanthin in fillets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with herring, capelin, sandeel or Peruvian high PUFA oils. Aquaculture. 180: 307-319.
6. Bjerkeng, B., Peisker, M., Von Schwartzenberg, K., Ytrestøyl, T., and Åsgård, T. 2007. Digestibility and muscle retention of astaxanthin in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets

with the red yeast (*Phaffia rhodozyma*) in comparison with synthetic formulated astaxanthin. Aquaculture. 269: 476-489.

7. Boonyaratpalin, M., Thongrod, S., Supamattaya, K., Britton, G., and Schlipalius, L.E. 2001. Effect of β-carotene source (*Dunaliella salina*) and astaxanthin on pigmentation, growth, survival and health of (*Penaeus monodon*). Aquaculture Research. 32(1): 182-190.
8. Booth, M., Warner-Smith, R., Allan, G., and Glencross, B. 2004. Effects of dietary astaxanthin source and light manipulation on the skin colour of Australian snapper (*Pagrus auratus*) (Bloch & Schneider, 1801). Aquaculture Research. 35: 458-464.
9. Choubert, G. 1999. Carotenoids and pigment. In: Guillaum, J., Kaushik, S., Bergot, P., Metailler, R.(Eds), Nutrition and Feeding of Fish and Crustacean. Praxis Publishing, Chicheste, UK: 183-196.
10. Choubert, G., De la Noiie, J., and Blanc, J.M. 1991. Apparent digestibility of canthaxanthin in rainbow trout: effect of dietary fat level, antibiotics and number of pyloric caeca. Aquaculture. 99: 323- 329.
11. Choubert, G., Luquet, P. 1983. Utilization of shrimp shell meal for rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.) pigmentation. Influence of fat content of the diet. Aquaculture. 32: 19–26.
12. Choubert, G. 1985. Effects of starvation and feeding on canthaxanthin depletion in the muscle of rainbow trout (*salmo gairdneri*). Aquaculture. 49: 293-298.
13. Copeman, L.A., Parrish, C.C., Brown, J.A., and Harel, M. 2002. Effects of docosahexaenoic, eicosapentaenoic, and arachidonic acids on the early growth, survival, lipid composition and pigmentation of yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*): a live food enrichment experiment. Aquaculture. 210: 285–304.
14. Delgado, C.L., Wada, N., Rosegrant, M.W., Meijer, S., and Ahmed, M. 2003. Fish to 2020. Supply and Demand in Changing Global Market. International Food Policy Research Institute, Washington, DC, USA, 226p.
15. During, A., and Harrison, E.H. 2004. Intestinal absorption and metabolism of carotenoids: insights from cell culture. Archives of Biochemistry and Biophysics. 430: 77–88.
16. Goodwin, T.W. 1984. The Biochemistry of Carotenoids, 2nd ed. Chapman & Hall, London, Pp: 64–96.
17. Gouveia, L., and Rema, P. 2005. Effect of microalgal biomass concentration and temperature on ornamental fish (*Cyprinus carpio*) skin pigmentation. Aquaculture Nutrition. 11 : 19–23.
18. Izquierdo, M.S., Kalinowski, C.T., Thongrod, S.Y., and Robaina, L.E. 2005. Nutritional needs for correct pigmentation in European red porgy *Pagrus pagrus*. In: Lyonsy, T.P., Jacques, K.A. (Eds.), Nutritional Biotechnology in the Feed and Food Industries. Nottingham Univ. Press. Pp: 307–323.
19. Kalinowski, C.T., Izquierdo, M.S., and Robaina, L.E. 2007. Dietary supplementation time with shrimp shell meal on red porgy (*Pagrus pagrus*) skin colour and carotenoid concentration. Aquaculture, 272: 451–457.
20. Kalinowski, C.T., Robaina, L.E., Ferna´ndez-Palacios, H., Schuchardt, D., and Izquierdo, M.S. 2005. Effect of different carotenoid sources and their dietary levels on red porgy (*Pagrus pagrus*) growth and skin colour. Aquaculture. 244: 223– 231.
21. Kop, A., and Durmaz, Y. 2008. The effect of synthetic and natural pigments on the colour of the cichlids (*Cichlasoma severum sp.*, Heckel (1840). Aquaculture International, 16: 117–122.
22. Koteng, D.F. 1992. Markedsundersøkelse Norsk Laks. FNL Bergen, Norway.
23. Maltby, J.B., Albright, L.J., Kennedy, C.J., and Higgs, D.A. 2003. Effect of route of administration and carrier on bioavailability and kinetics of astaxanthin in Atlantic salmon *Salmo salar* L. Aquaculture Research. 34: 829– 838.
24. Miki, W., Yamaguchi, K., Konosu, S., Takane, T., Satake, M., Fujita, T., Kuwabara, H., Shimeno, S., and Takeda, M. 1985. Origino of tunaxanthin in the integument of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). Biochemistry and Molecular Biology. 80(2): 195-201.
25. Nasri, M. 2008. Study of synthetic production and growth of canthaxanthin from *Dietzia natronolimnaea* HS-1 bacteria by stimulation materials on production of carotenoids by

Batch method. Thesis for the degree of master students. Tehran university. Faculty of natural resources. Department of food sciences and industries. 90.
26. Schiedt, K. 1998. Absorption and metabolism of carotenoids in birds, fish and crustacean. In: Britton, G., Liaaen-Jensen, S., Pfander, H., (Eds). Carotenoids, vol. 3. Birkusen, Basel, 285p.
27. Scrimshaw, N.S., Guzman, M.A., and Tandon, O.B. 1954. Effect of aureomycin and penicillin on growth of Guatemalan school children. Federation proceedings journal. 13: 477.
28. Shahidi, F., Metusalach, A., and Brown, J.A. 1998. Carotenoid pigments in seafoods and aquaculture. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 38: 1–67.
29. Shpigel, M., McBride, S.C., Marciano, S., and Lipatch, I. 2004. The effect of photoperiod and temperature on the reproduction of European sea urchin (*Paracentrotus lividus*). Aquaculture. 232: 1-4.
30. Sylvia, G., Morrisey, M.T., Graham, T., and Garcia, S. 1995. Organoleptic qualities of farmed and wild salmon. Journal of Aquatic Food Product Technology. 4: 51-64.
31. Torrissen, O.J. 1989. Pigmentation of salmonids: Interactions of astaxanthin and canthaxanthin on pigment deposition in rainbow trout. Aquaculture. 79: 363–374.
32. Torrissen, O.J., Hardy, R.W., and Shearer, K.D. 1989. Pigmentation of salmonids – carotenoid deposition and metabolism. CRC Critical Reviews in Aquatic Sciences. 1,209–225.
33. Torrissen, O.J., Hardy, R.W., Shearer, K.D., Scott, T.M., and Stone, F.E. 1990. Effects of dietary canthaxanthin level and lipid level on apparent digestibility coefficients for canthaxanthin in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture. 88: 35 l-362**.**
34. Torrissen, O.J., Roth, G., and Slinde, E. 1999. Effects of storage and slaughter temperature on fillet colour of Atlantic salmon (*Salmo salar*) Poster at the Farmed Fish Quality Conference, April 1999, Bristol, England.
35. Wang, Y.J., Chien, Y.H., and Pan, C.H. 2006. Effects of dietary supplementation of carotenoids on survival, growth, pigmentation, and antioxidant capacity of characins, (*Hyphessobrycon callistus*). Aquaculture. 261: 641–648.
36. Wathne, E., Bjerkeng, B., and Storebkken, T. 1998. Pigmentation of Atlantic salmon (*salmo salar*) fed astaxanthin in all meals or in alternating meals. Aquaculture. 159: 217-231.
37. Ytrestøyl, T., Struksnæs, G., Koppe, W., and Bjerkeng, B. 2005. Effects of temperature and feed intake on astaxanthin digestibility and metabolism in Atlantic salmon, (*Salmo salar*). Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology. 142: 445-455.