بررسی عوامل مؤثر بر بازده استفاده از رنگدانه های کاروتنوئیدی در آبزیان

مرتضی بهره‌مند[۱*]، صدرا محمودی[۲]، آسیه سلیمانی راد[۳]

[۱] گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج
[۲] گروه انرژی های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران
[۳] دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، باشگاه پژوهشگران و نخبگان جوان، کرج

چکیده

با توجه به افزایش سریع جمعیت انسانی، نیاز به منابع غذایی نیز به شدت در حال افزایش می باشد. یکی از مهم ترین این منابع غذایی، آبزیان می باشند. بواسطه عدم تغییر در میزان صید و حتی کاهش میزان ذخایر آبزیان، راه تامین این نیاز غذایی، پرورش آبزیان می باشد. از دیگر عوامل مؤثر بر رشد صنعت آبزی پروری، نقش آن در تامین محصولات غذایی سالم، مغذی و با کیفیت می باشد. یکی از مهم ترین خصوصیات آبزیان خوراکی، در ارزیابی میزان کیفیت آن ها، رنگ مناسب محصول می باشد. با توجه به هزینه بالای ایجاد و حفظ کیفیت رنگ در آبزیان و همچنین اهمیت رنگ در کیفیت و ارزش اقتصادی تولیدات آبزی پروری، در این مطالعه به شناخت عوامل موثر بر کارایی رنگزایی رنگدانه های کاروتنوئیدی پرداخته شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که عوامل متعددی بر میزان رنگزایی کاروتنوئیدها در آبزیان مؤثرند که از آن جمله می توان به خصوصیات گونه آبزی (گونه، جنسیت، سن و وزن)، نوع و منبع رنگدانه، میزان و خلوص رنگدانه، ترکیب مواد غذایی همراه با رنگدانه، میزان غذا و ترکیب جیره غذایی، زمان و تعداد دفعات غذادهی، عوامل محیطی (دما، نور، شوری)، عوامل ژنتیکی، و ...، اشاره نمود. این بدان معنی است که نمی توان تنها با ارزیابی یک یا چند عامل از عوامل ذکر شده، به تصور درستی از میزان کارآیی کاروتنوئیدهای مورد استفاده، دست یافت، بنابراین برای سنجش این شاخص بایستی برهم کنش تمامی فاکتورهای مذکور مورد توجه قرار گیرند.

کلمات کلیدی: کاروتنوئید، تغذیه، آبزی پروری، آستاگزانتین، رنگدانه

* نویسنده مسئول: bahremand.m@ut.ac.ir

مقدمه

در چند دهه اخیر رشد قابل ملاحظه ای در صنعت آبزی پروری بوجود آمده است (۹/۲ درصد در سال، از ۱۹۷۰)، که علت آن ثابت ماندن مقدار صید و ظرفیت محدود ذخایر آبزیان، در مقابل افزایش جمعیت انسانی و افزایش مصرف جهانی ماهی است که در ۵۰ سال گذشته به دو برابر رسیده است (Delgado *et al*., 2003). عامل تاثیرگذار دیگر بر رشد صنعت آبزی پروری، نقش آن در تامین محصولات غذایی سالم، مغذی و با کیفیت می باشد. محصولات آبزی پروری با کیفیت بایستی شرایط متعددی را دارا باشند تا از سوی مصرف کننده مورد قبول واقع شوند. از جمله این شرایط، رنگ مناسب محصول می باشد که در بین پارامترهای کیفی ماهیان، مهم ترین عامل در بازارپسندی آن ها می باشد. در ماهیان، رنگ نقشی فراتر از جنبه های ظاهری و زیبایی دارد. مصرف کنندگان، رنگ طبیعی را مقارن با سلامتی و کیفیت بالای محصول می دانند (بهره‌مند و همکاران، ۱۳۹۲ الف،ب). به عنوان مثال رنگ گوشت در آزاد ماهیان به عنوان مهم ترین عامل کیفی بعد از تازگی گوشت در نظر گرفته می شود. علاوه بر رنگ گوشت، خوش رنگی پوست نیز در ماهیان پرورشی با پوست زرد و قرمز، مثل شانک ماهی دریایی قرمز، *Pagrus pagrus* (Basurco and Abellan, 1999) سیم دریایی قرمز ژاپنی، *Pagrus major*، سرخو استرالیایی، *Pagrus auratus* (Booth *et al*., 2004) و ماهی دم زرد، *Seriola quinqueradiata* (Miki *et al*., 1985) خیلی ارزشمند است و منجر به افزایش قیمت آن ها در بازار می گردد. در ماهیان زینتی نیز رنگ پوست یک عامل مؤثر بر قیمت بازاری ماهی است و نقش مهمی در تخمین ارزش کلی آن ایفا می کند (Gouveia and Rema, 2005).

در حیوانات، کاروتنوئیدها بعد از ملانین ها رایج ترین رنگدانه ها هستند که مسئول ایجاد رنگ ها و بالا رفتن کیفیت در محصولات می گردند. بی مهرگان و غالب مهره داران تنوع زیادی را در کاروتنوئیدها نشان می دهند و قادرند ساختمان مولکولی کاروتنوئیدهای جذب شده از جیره غذایی شان را تغییر دهند، در حالی که در پستانداران حضور و توزیع کاروتنوئیدها بسیار محدود است (Schmidt, 1998). ماهیان مثل سایر جانوران قادر به سنتز خود به خودی (*de novo*) کاروتنوئیدها نبوده (Goodwin, 1984) و بر برای دستیابی به کاروتنوئیدها و سایر رنگدانه ها به منابع غذایی وابستگی دارند تا رنگ خود را حفظ نمایند (Wang *et al*., 2006). رنگ درخشان و طبیعی آبزیان تحت شرایط پرورشی و اسارت از بین می رود (Kalinowski *et al*., 2005; Pavlidis *et al*., 2006). در پرورش ماهیان خوراکی یا ماهیان زینتی که تغذیه ماهیان با جیره های فرموله انجام می شود، رنگدانه های مورد نیاز به جیره های غذایی اضافه می شوند. تغییر رنگ یک فرآیند پرهزینه در پرورش آبزیان محسوب می گردد و باید در طول چرخه 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 موثر بر کارایی رنگزایی رنگدانه های کاروتنوئیدی اهمیت بسیار زیادی دارد. با توجه به اهمیت ذکر شده در مورد کیفیت رنگ در آبزیان، در این مطالعه رنگدانه های کاروتنوئیدی و مکانیسم اثر عوامل مختلف برکارایی رنگزایی این رنگدانه ها مورد بررسی واقع شده است.

کاروتنوئیدها رنگدانه های زیستی محلول در چربی هستند که رنگ زرد و قرمز به پوست می دهند و همین طور رنگ های نارنجی و سبز را در تخم، پوست و گوشت ماهیان ایجاد می کنند (Kop and Durmaz, 2008). نام کاروتنوئید از نام علمی هویج[1] مشتق شده که حاوی رنگدانه کاروتنوئیدی بتاکاروتن می باشد. عامل ایجاد رنگ در کاروتنوئیدها پیوند های دوگانه مزدوج در آنان می باشد. اگر چه کاروتنوئیدها اغلب در غلظت های پایین وجود دارند ولی تولید کل آن ها در طبیعت بالغ بر ۱۰۰ میلیون تن در سال تخمین زده شده است که به طور

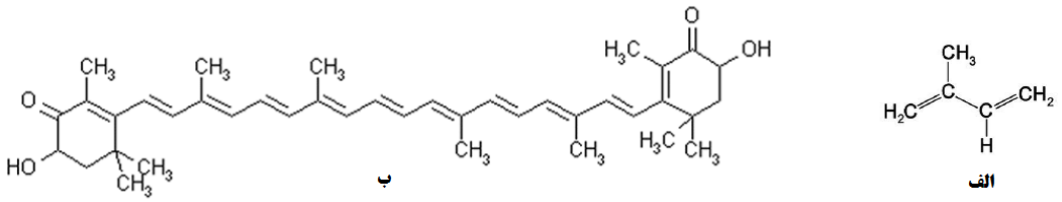
[1] *Daucus carota*

عمده از طریق چرخه فتوسنتز ساخته و به طور متوالی در برگ ها، جلبک ها و زئوپلانکتون ها ذخیره می شوند (Landrum, 2010). بیش از ۷۵۰ کاروتنوئید مختلف در طبیعت مورد شناسایی قرار گرفته است (Bechtold and Mussak, 2009)، که تنها از تعداد کمی از آن ها در خوراک جانوران، مواد آرایشی، رنگدانه های خوراکی و مواد دارویی استفاده به عمل می آید (Kop and Durmaz, 2008). از جمله این کاروتنوئیدها می توان به آستاگزانتین، کانتاگزانتین، لوتئین، کاپسانتین[۲] ، اتیل استر[۳]، کریپتوگزانتین[۴]، زیگزانتین، سیتراناگزانتین[۵]، β-آپو- '۸ –کاروتنال[۶] و β-آپو- '۸ – کاروتنوئیک اسید[۷] اشاره نمود (Bechtold and Mussak, 2009).

کاروتنوئیدها متشکل از چندین واحد ایزوپرن (C_5H_8) می باشند (معمولا ۸ واحد ایزوپرن) (شکل۱، الف). ساختمان آن ها را می توان به صورت زنجیری از دو تریپنوئید (یک واحد ۱۰ کربنی) دانست که به طریق سر به دم به یکدیگر متصل شده اند و یک واحد ۲۰ کربنی را ایجاد کرده اند. در ادامه، دو واحد ۲۰ کربنی از مسیر دم به دم به هم متصل شده و یک زنجیر ۴۰ کربنی را ایجاد کرده اند. بنابراین کاروتنوئیدها به صورت یک تتراترپنوئید در نظر گرفته می شوند (Britton, 1998). تمامی کاروتنوئیدها را می توان به صورت مشتقاتی از لیکوپن ($C_{40}H_{56}$) در نظر گرفت (بهره‌مند و همکاران، ۱۳۹۳). این ساختار پایه در مسیرهای واکنشی مختلف می تواند به انواع گوناگونی از ساختارها تبدیل شود که از جمله این واکنش ها می توان حلقوی شدن در انتهای مولکول به منظور تشکیل گروه های انتهایی مختلف، تغییر در سطح هیدروژن دار شدن، هیدروژن زدایی و قرار دادن گروه های عاملی اکسیژن دار، نوآرایی، مهاجرت پیوند دوگانه، مهاجرت گروه متیل، طولانی شدن زنجیر، کوتاه شدن زنجیر، ایزومری شدن و یا ترکیبی این روش ها را نام برد (Britton, 1998).

حداقل ۱۱ پیوند دوگانه مزدوج برای رنگی بودن کاروتنوئیدها لازم است. فیتوفلوئن با داشتن ۵ پیوند دو گانه مزدوج، فاقد رنگ می باشد. رنگ هنگامی شدید تر می شود که سیستم مزدوج افزایش یابد، بنابراین لیکوپن با داشتن ۱۱ پیوند دوگانه قرمز رنگ می باشد. حلقوی شدن باعث ایجاد محدودیت هایی می شود، بنابراین به رغم اینکه آلفا و بتاکاروتن همانند لیکوپن دارای ۱۱ پیوند دوگانه مزدوج هستند، اما آن ها به ترتیب نارنجی مایل به قرمز و نارنجی می باشند. شدت رنگ بستگی به نوع کاروتنوئیدها، غلظت، حالت های فیزیکی، حضور و یا عدم حضور رنگدانه های جانبی مانند کلروفیل، و ... دارد (بلوریان و همکاران، ۱۳۹۰). تعداد پیوندهای دوگانه متناوب بین ۷ تا ۱۵ عدد متغیر است که معمولاً در کاروتنوئیدهای ماهیان ۱۱ عدد می باشد (Britton, 1998). به طور کلی دو دسته کاروتنوئید وجود دارد: گروه اول هیدروکربن های فاقد اکسیژن می باشند که با عنوان کاروتن ها شناخته می شوند (مانند بتاکاروتن، آلفاکاروتن و ...)، و گروه دوم، گزانتوفیل ها می باشند که مشتقات اکسیژنی گروه اول بوده و دارای یک یا تعداد بیشتری از گروه های اکسیژن دار هستند (Breithaupt, 2007). در گروه گزانتوفیل ها، اکسیژن می تواند به صورت گروه های هیدروکسیل (مثل زیگزانتین)، یا گروه های اکسیژن (مثل کانتاگزانتین)، و یا ترکیبی از هر دو عامل (مثل آستاگزانتین) در ساختمان شیمیایی قرار بگیرد (شکل۱، ب) (Ciapara *et al*., 2006).

[۲] Capsanthin
[۳] Ethyl ester
[۴] Cryptoxanthin
[۵] Citranaxanthin
[۶] β-Apo-8'-carotenal
[۷] β- Apo-8'-carotenoic acid



شکل۱: ساختار یک واحد ایزوپرن (الف)، ساختار یک مولکول آستاگزانتین (ب) (Breithaupt, 2007)

منابع تولیدکننده کاروتنوئیدها فقط محدود به گیاهان (عالی و تک سلولی) و برخی باکتری ها، قارچ ها و مخمر ها می باشد (Sefc *et al*., 2014; Wouters *et al*., 2001). از آن جایی که جانوران قادر به ساخت این ترکیبات نیستند، بنابراین با توجه به اهمیت کاروتنوئید ها، این رنگدانه ها بایستی از طریق جیره غذایی در اختیار آن ها قرار گیرند (Bahremand *et al*., 2012). در طبیعت، آبزیان، کاروتنوئیدها را از طریق موجوداتی که به عنوان غذا مصرف می کند (مثل ریز جلبک ها و یا انواع سخت پوستان و لارو حشرات و ...)، به دست می آورد و معمولا کمبودی در این زمینه متوجه آن ها نیست (بهره‌مند و همکاران، ۱۳۹۲ب)، ولی در مورد آبزیانی که در اسارت پرورش و تکثیر می شوند، این نکته مهم است که مقادیر کاروتنوئید مورد نیاز موجود مورد محاسبه قرار گرفته و به موقع در اختیار آنها قرار گیرد تا بتوان به حداکثر تولید دست یافت.

کاروتنوئیدها با وجود این که جزء مواد مغذی و ضروری نیستند، اما قادرند نقش های متعددی را در مهره داران و بی مهرگان بازی کنند. در صنعت آبزی پروری کاروتنوئیدها در جیره های غذایی آزاد ماهیان، سخت پوستان و سایر ماهیان پرورشی استفاده شده اند تا رنگ مطلوبی را برای این موجودات پرورشی ایجاد کنند. مصرف کنندگان، ناخودآگاه رنگ محصول را با ارزش غذایی، سلامت، تازگی و طعم آن مرتبط می دانند. بنابراین رنگ، یک معیار کیفی سرنوشت ساز می باشد که بایستی حفظ و بهینه شود (بهره‌مند و همکاران، ۱۳۹۲ب). کاروتنوئیدها نه تنها به بهبود کیفیت محصولات از طریق افزایش رنگ کمک می کنند، بلکه باعث افزایش رشد (Dall, 1995; Petit *et al*., 1997) ، افزایش نرخ بقا (Wyban *et al*., 1997) ، افزایش توان سیستم ایمنی، افزایش ظرفیت تولید مثلی (Linan-Cabello *et al*., 2003) ، افزایش فعالیت آنتی اکسیدانتی (Meyers and Latscha, 1997) و افزایش مقاومت در برابر استرس (Chien *et al*., 2003) می شوند. همچنین به خاطر داشتن نقش مثبت در سلامتی انسان منجر به ایجاد ذهنیت مطلوب در مشتریان و مصرف کنندگان تولیدات آبزی پروری نیز می گردند. در هر حال، بیشتر تحقیقات امروز در زمینه آبزیان بر نقش کاروتنوئیدها به عنوان رنگدانه متمرکز شده است (بهره‌مند و همکاران، ۱۳۹۲ب). از دیگر کارکردهای کاروتنوئیدها، می توان به نقش آن ها در حفاظت از DNA، در جلوگیری از بروز انواع سرطان ها، در بیان ژن (Burri, 2000) و حفاظت در برابر نور در جانوران غیر آبزی (Torrissen, 1984) اشاره نمود.

عوامل مؤثر بر کارآیی رنگدانه های کاروتنوئیدی

خصوصیات گونه آبزی (نوع، سن، وزن)

در مطالعه ای پاسخ آستاگزانتین اضافه شده در جیره برای سه گونه از آزاد ماهیان با نام های قزل آلای رنگین کمان، آزاد چینوک و آزاد اطلس مورد بررسی قرار گرفت. سریع ترین پاسخ رنگزایی به رنگدانه خوراکی در قزل آلای رنگین کمان و کند ترین پاسخ در ماهی آزاد اطلس مشاهده شد. بیشترین میزان تغییر در پاسخ به غلظت های مختلف آستاگزانتین در ماهی آزاد چینوک مشاهده گردید. الگوی بروز رنگزایی در بین گونه ها نیز متفاوت بود به طوری که در دو ماهی قزل آلای رنگین کمان و آزاد اطلس بالاترین رنگزایی در بخش انتهای بدن صورت گرفت و به سمت قسمت قدامی و قسمت خلفی بدن ادامه می یافت (March *et al*., 1990). جذب و تثبیت رنگدانه

های کاروتنوئیدی می تواند به طور قابل ملاحظه ای به جنس، گونه و حتی نژاد ماهی بستگی داشته باشد. بنابراین درون یک جمعیت قزل آلا ضریب تغییرات رنگ شدگی عضلات در جانوران نابالغ نزدیک به ۳۰ درصد است. این تغییر پذیری می تواند در طول بلوغ جنسی، فوق العاده افزایش یابد (Choubert, 1999). رنگزایی کاروتنوئیدها در موجودات مختلف تحت تاثیر سن و سیستم جذب چربی در بدن موجود می باشد. به این ترتیب که جانوران مسن تر نسبت به جوان ترها توانایی پذیرش رنگ بالاتری دارند (Raghaavan, 2001).

مقدار ذخیره رنگدانه در عضلات ماهی قزل آلای رنگین کمان با تغییرات وزنی متفاوت می باشد. در وزن ۴۰ تا ۶۰ گرم مقدار ذخیره به شکل کم، در وزن ۶۰ تا ۹۰ گرم با مقدار ثابت و مداوم و در وزن ۹۰ تا ۱۰۰ گرم به صورت آنی یا سریع افزایش می یابد. در واقع مشخص بودن رابطه بین وزن ماهی و ذخیره سازی رنگدانه در استراتژی های رنگزایی تغذیه ای ماهیان با اهمیت است. در صورت افزایش قابلیت ذخیره سازی رنگدانه با افزایش وزن بدن، تغذیه با مکمل های رنگی خوراکی جهت رنگزایی آبزی تنها در اوزان بالا و انتهای دوره تولید مثل توصیه شده است (Torrissen *et al*., 1989; Torrissen, 1989). تغییر در میزان تجمع کاروتنوئیدها به دنبال رشد، یا به دلیل افزایش مصرف کاروتنوئیدها و یا به علت افزایش توده عضلات برای ذخیره سازی رنگدانه می باشد. در ماهی قزل آلای رنگین کمان (نسبتا کوچک) با رشد مطلق پایین، به همراه افزایش مصرف کاروتنوئیدها، غلظت رنگدانه ها نیز افزایش یافت. در ماهیان با رشد مطلق بیشتر (بزرگتر)، مصرف زیادتر رنگدانه در برابر رشد زیادتر بافت عضلانی قرار گرفت که یک حالت تراز یا ثابتی از ذخیره سازی رنگدانه را در ماهیان با نرخ رشد بالاتر نشان داد (Torrissen, 1989).

نوع و منبع رنگدانه

در آزمایشی دو جیره غذایی در ماهی قزل آلای رنگین کمان مورد آزمایش قرار گرفت. به یک جیره آستاگزانتین ایزومر تمام ترانس و به جیره دیگر ترکیبی از ایزومرهای تمام ترانس و سیس اضافه شد. در انتهای آزمایش غلظت کاروتنوئیدهای گوشت ماهیان تغذیه شده با آستاگزانتین تمام ترانس از ماهیان تغذیه شده با مخلوط استروایزومرهای آستاگزانتین (تمام ترانس و سیس) بیشتر و گوشت ماهیان گروه اول به طور معنی داری قرمز تر از گروه دوم بود. قابلیت هضم ایزومرهای تمام ترانس آستاگزانتین (۷۹ درصد) در مقایسه با مخلوط استروایزومرهای آستاگزانتین (۶۴ درصد) بیشتر بود (Bjerkeng *et al*., 1997).

منابع طبیعی و مصنوعی حاوی کاروتنوئیدهای مشابه در بسیاری از مطالعات نتایج یکسانی در رنگزایی در آبزیان نداشته اند. منابع رنگدانه های طبیعی از قبیل جلبک ها رنگدانه های استری را که کارایی کمتری از رنگدانه های غیر استری دارند، در خود جای می دهند. همچنین این منابع دارای کمپلکسی از کاروتنوئیدها هستند که هر کدام نیاز به مسیر متابولیکی و بیوسنتزی متعددی دارند تا تبدیل به فرم نهایی برای ذخیره سازی شوند (Simpson, 1982). بنابراین نسبت به رنگدانه های سنتتیک که غیر استریفه هستند و به طور مستقیم ذخیره می شوند، کارایی کمتری دارند (Storebakken *et al*., 1987). به علاوه، وجود دیواره ضخیم سلولی در برخی از منابع رنگدانه ای طبیعی مثل جلبک هماتوکوکوس و مخمر فافیا، مانع از هضم و جذب رنگدانه ها توسط ماهی ها می شود (Tangeraas *et al*., 1989; Johnson and An, 1991). در مواردی گزارش شده است که منابع طبیعی رنگدانه مثل جلبک هماتوکوکوس یا اسپیرولینا، در مقایسه با منابع مصنوعی رنگدانه ای مثل آستاگزانتین سنتتیک از نظر محتویات رنگدانه ای تجمع یافته در پوست و گوشت تفاوتی نشان نداده اند، مانند مطالعه ای که در میگوی کرومای ژاپنی انجام شد (Chien and Shiau, 2005).

میزان و خلوص رنگدانه

اثر میزان کاروتنوئید مصرف شده توسط ماهی در رنگزایی ماهی در آزمایشات مختلف به خوبی نشان داده شده است

(Wade et al., 2015). زمانی که مقدار رنگدانه مصرفی توسط ماهی بالا می رود تثبیت کاروتنوئید ها در عضله افزایش می یابد. اما بعد از عبور از یک سطح معینی بیشتر شدن رنگدانه هیچ اثری در افزایش رنگ عضله ندارد. این سطح معین که برای رنگدانه کانتاگزانتین ۱۰۰ میلی گرم درکیلوگرم غذا است می تواند همان اشباعیت یا سیری ظرفیت جذب رانگدانه باشد. در مجموع تثبیت کانتاگزانتین کمتر از آستاگزانتین است که می تواند به علت جذب بهتر آستاگزانتین باشد. در ماهی قزل آلا تغییر مقدار تثبیت کانتاگزانتین در عضله ماهی از موقعی که فقط ۴-۵ میلی گرم کانتاگزانتین را تثبیت کرده، مشاهده می شود. برای بافت عضله که ۸۰ میلی گرم کانتاگزانتین در هر کیلوگرم غذا با نرخ افزایشی متوسط دارد دوره توزیع رنگدانه می تواند ۲ تا ۳ هفته باشد. در هر حال امروز تمایلات بالا رفته و مقادیر ۸-۱۲ میلی گرم کاروتنوئید در هر کیلوگرم از عضله رایج نیست و متضمن تامین جیره های غنی تر از نظر رنگدانه می باشد (Choubert, 1999).

ترکیب مواد همراه با رنگدانه

در رابطه با دسترسی و هضم کاروتنوئیدها، ماتریکس یا قالب ماده در بر گیرنده کاروتنوئید اثرگذار می باشد (Güroy *et al*., 2012). ماتریکس بسیار سخت و پایدار یک ماده حاوی کاروتنوئید، رنگدانه را در حین ساخت و انبارداری خوراک از تجزیه و نابودی حفظ می نماید، در حالی که می تواند جلوی هضم آسان آن را در روده بگیرد (Bjerkeng *et al*., 2007). مطالعه ای که در مورد هضم و تثبیت عضلانی آستاگزانتین موجود در مخمر قرمز (*Phaffia rhodozyma*) در مقایسه با آستاگزانتین مصنوعی موجود، لوکانتین پینک در ماهی آزاد اطلس (*Salmo salar*) صورت گرفت، نشان داد که هضم آستاگزانتین موجود در مخمر قرمز از آستاگزانتین مصنوعی در این ماهی بالاتر است. در بررسی میکروسکوپی مدفوع این ماهی ها آن تعداد از سلول های 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 تاکید می کند (Bjerkeng *et al*., 2007).

میزان غذا و ترکیب جیره غذایی

در آزمایشی که در مورد هضم رنگدانه آستاگزانتین در ماهی آزاد اطلس در ارتباط با مصرف غذا صورت گرفت، میزان مصرف غذا که در دامنه ای بین ۰/۲ تا ۱/۵ درصد بود تاثیر معنی داری بر قابلیت هضم ظاهری آستاگزانتین نداشت (Ytrestoyl *et al*., 2005). در ماهی قزل آلای رنگین کمان، افزایش مقدار چربی جیره باعث افزایش هضم ظاهری رنگدانه کانتاگزانتین می شود (Torrissen *et al*., 1990). البته این رابطه به طور قطعی به اثبات نرسیده است، چرا که در برخی از مطالعات هیچ اثر معنی داری از مقدار چربی جیره بر ذخیره سازی کاروتنوئیدها در عضله ماهی قزل آلای رنگین کمان مشاهده نشده است (Choubert and Luquet, 1983; Torrissen *et al*., 1990). بر عکس در مطالعات بعدی، افزایش مقدار چربی جیره با ازدیاد ۳۳ درصدی ذخیره کاروتنوئیدها در ماهی قزل آلای رنگین کمان همراه بوده است (Torrissen *et al*., 1999). ترکیب ویتامین E (آلفا توکوفرول استات) نیز در جیره های حاوی رنگدانه آستاگزانتین در ماهی آزاد اطلس باعث بهبود ذخیره سازی کاروتنوئید و رنگ فیله ماهی می شود که اثر آن نسبتا کم می باشد (Bjerkeng *et al*., 1999).

از ترکیبات دیگری که ممکن است در جیره های غذایی استفاده شوند، آنتی بیوتیک ها می باشند. در آزمایشی که سطوح یکسانی از کانتاگزانتین را در جیره غذایی مختلف از نظر سطح چربی (کم یا زیاد) در کنار ترکیبات آنتی بیوتیکی (۰/۸ گرم در کیلوگرم فلامکوئین به علاوه ۳/۴۵ گرم کیلوگرم جنتامایسین) در ماهی قزل آلای رنگین کمان استفاده شد. قابلیت هضم ظاهری کانتاگزانتین در جیره های غنی از چربی و دارای آنتی بیوتیک و غنی از چربی و فاقد آنتی بیوتیک، بیشتر از جیره غذایی با چربی

کم و حاوی یا فاقد آنتی بیوتیک بود. در این مطالعه، استفاده از مکمل های آنتی بیوتیکی، هضم ظاهری چربی را در جیره های غنی از چربی افزایش داد (Choubert *et al.*, 1991). در پستانداران، آنتی بیوتیک ها فرایندهای میکروبی را به تعویق می اندازند، ضخامت دیواره روده را کاهش می دهند و جذب مواد مغذی را آسان می سازند (Scrimshaw *et al.*, 1954). اما در ماهیان که تنها جمعیت های باکتریای کمی در روده خود دارند (10^6 تا 10^7 واحد در هر گرم از روده)، آنتی بیوتیک ها به خاطر برخی از مکانیسم هایی که تاکنون شناخته نشده اند باعث جذب شدیدتر چربی ها در روده می شوند که نیاز به بررسی های بیشتری در این زمینه احساس می شود (Choubert *et al.*, 1991).

زمان و تعداد دفعات غذادهی

با افزایش تعداد روزهای غذادهی با جیره های حاوی رنگدانه های کاروتنوئیدی میزان رنگدانه بدن قزل آلای رنگین کمان افزایش یافت (Torrissen, 1989). میزان کاروتنوئید در فیله ماهی چار نیز با افزایش دوره تغذیه با مکمل های کاروتنوئیدی خوراکی بیشتر شد. در ماهی سیم قرمز دریایی نیز با افزایش دوره تغذیه با جیره های حاوی رنگدانه طبیعی پوست میگو، افزایش غلظت کاروتنوئید پوست گزارش شده است (Kalinowski *et al.*, 2005).

جیره های خوراکی دارای آستاگزانتین و فاقد آستاگزانتین در برنامه های غذایی تنظیم شده به صورت پی درپی و متناوب (یک درمیان) بر روی ماهی آزاد اطلس از نظر ذخیره سازی رنگدانه بررسی شدند. در این مطالعه مشخص شد که حداکثر ذخیره سازی رنگدانه از طریق تغذیه مداوم جیره های دارای آستاگزانتین نسبت به تغذیه متناوب جیره های دارای آستاگزانتین حاصل می شود (Wathne *et al.*, 1998). اگر تامین کانتاگزانتین خوراکی در ماهی قزل آلا متوقف شود رنگ ماهی تاثیر می پذیرد و میزان آن کاهش می یابد (Sefc *et al.*, 2014). این پدیده در ماهیان با تغذیه دائم از غذای بدون رنگدانه نسبت به ماهیانی که به صورت متناوب یا چند روز به چند روز غذادهی می شوند واضح تر مشاهده می شود. این موضوع خبر از توزیع مجدد کانتاگزانتین از یک بافت به بافت دیگر می دهد و نیمه عمر آن در بافت عضله در مقایسه با دیگر بافت ها بیشتر گزارش شده است (Choubert, 1985).

عوامل محیطی (دما، نور)

دما از عوامل مؤثر بر فرآیندهای زیستی جانوران است. اثرات جیره های دارای آستاگزانتین در دو دمای مختلف ۵ و ۱۵ درجه سانتی گراد بر روی رنگزایی ماهی قزل آلای رنگین کمان بررسی شد. بعد از پایان دوره شش هفته ای آزمایش، مقدار کاروتنوئید موجود در لاشه ماهیان پرورش یافته در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد بیشتر از ماهیان پرورش یافته در دمای ۵ درجه سانتی گراد بود. این در حالی صورت گرفت که هیچ اثر معنی داری از دما بر غلظت کاروتنوئید موجود در پوست، کبد و روده مشاهده نشد (No and Storebakken, 1991). علاوه بر این، دما بر ضریب هضم ظاهری رنگدانه نیز اثر گذار است. زمانی که جیره های حاوی آستاگزانتین برای تغذیه ماهیان آزاد اقیانوس اطلس در دماهای ۸ و ۱۲ درجه سانتی گراد مورد استفاده واقع شدند قابلیت هضم رنگدانه آستاگزانتین در دمای ۱۲ درجه سانتی گراد حدود ۱۰ درصد بالاتر از دمای ۸ درجه سانتی گراد بود. این نکته می تواند در افزایش کارایی رنگدانه مورد توجه قرار گیرد (Ytrestoyl *et al.*, 2005).

در مطالعه ای، اثر طیف نور آبی در پوست ماهی سیم دریایی قرمز بررسی شد. ماهیانی که تحت تابش طیف نور آبی بودند به تدریج حالت کم رنگ با حداکثر رنگ پریدگی را پیدا کردند. این رنگ پریدگی نسبت به ماهیانی که این طیف نوری را دریافت نکرده بودند به طور معنی داری بیشتر بود و از نظر محتویات ملانین پوست، رنگ سرتاسری و شدت یا سیری رنگ تفاوتی بین این دو گروه ماهیان وجود نداشت. بر طبق نتایج حاصل از این آزمایش، طیف نوری قادر است تنها بر روشنی پوست اثر بگذارد و

بر خصوصیات دیگر رنگ شناسی مثل سایه رنگ یا فام[۸] یا شدت و سیری رنگ[۹] بی تاثیر می باشد (Szisch *et al*., 2002). منبع نور نیز می تواند بر مقدار رنگدانه های آبزی اثر گذار باشد. زمانی که میگوی پا سفید غربی(*Litopenaeus vannamei*) در برابر منابع مختلف نور از قبیل لامپ های هالوژن فلزی، و لامپ فلورسنت سفید قرار گرفتند، بیشترین غلظت آستاگزانتین آزاد را تحت معرض لامپ های هالیده فلزی از خود نشان دادند (You *et al*., 2006).

عوامل ژنتیکی

در مطالعه ای، اثر توارث رنگزایی عضلات در ماهی آزاد چینوک با طرح تلاقی فاکتوریل ۶×۶ با استفاده از تخم های سه ماهی آزاد چینوک سفید گوشت و سه ماهی آزاد چینوک قرمز گوشت با اسپرم سه ماهی آزاد چینوک سفید گوشت و سه ماهی آزاد چینوک قرمز گوشت بررسی شد. ۳۶ نسل خواهر و برادر تنی به دست آمده با جیره های حاوی آستاگزانتین تغذیه شدند. در پایان مشاهده شد که نسل حاصل از تلاقی تخم و اسپرم تیپ قرمز گوشت، بیشتر از نسل حاصل از تلاقی تخم و اسپرم تیپ سفید گوشت رنگدانه دار شده و رنگ زایی نسل ناشی از تلاقی ها بیشتر به رنگ زایی والدین پدری و مادری همبستگی داشت. در واقع ماهیان آزاد چینوک که از مقدار آستاگزانتین یکسانی استفاده کرده بودند مقدار تفاوت گسترده ای را در بین نژادها و همچنین نتاج های درون نژادها به لحاظ به کارگیری رنگدانه های خوراکی از خود نشان دادند (Choubert., 1999). چنین ناهمگنی در بین والدین در داخل نژاد حاکی از آن است که بروز رنگزایی توسط تعداد کمی از ژن ها با اثرات غیر افزایشی زیاد کنترل می شود (Braasch and Liedtke, 2011). آزاد ماهیانی که کاروتنوئیدهای خوراکی را دریافت کردند تفاوت های زیادی را در رنگ گوشت نشان دادند. این تغییرات رنگ به خاطر تغییرات ژنتیکی دربین خانواده و حتی جلوتر از خانواده و در بین افراد می باشد (Choubert., 1999).

نوسانات ذخیره سازی و تثبیت رنگدانه کانتاگزانتین در عضله و تخمدان ماهیان ماده بالغ دیپلوئید دارای توانایی تولید مثل (۲n) با ماهیان ماده تریپلوئید عقیم (۳n) در طول یک دوره زمانی حدودا ۹ ماهه متفاوت بود. در طول چهار هفته اول، تثبیت کانتاگزانتین در ماده های دیپلوئید سه برابر ماده های تریپلوئید بود. بعد از آن مقدار تثبیت این رنگدانه در عضله ماهی تریپلوئید و عضله و تخمدان ماهی دیپلوئید مشابه و نسبتا هم سطح شد، در حالی که مقدار آن در عضله ماهی دیپلوئید کمتر بود. غلظت کانتاگزانتین در عضله و تخمدان ماهی دیپلوئید به شکل معنی داری متفاوت از مقدار این رنگدانه در عضلات ماهی تریپلوئید نبود. در واقع ذخیره کانتاگزانتین در عضله ماهی تریپلوئید بیشتر از ماهی دیپلوئید بود، ولی بعد از گذشت چهار هفته از تخم ریزی، مقدار آن در ماهی دیپلوئید به اندازه مقدار آن در ماهی تریپلوئید رسید (Choubert and Blanc, 1989).

نتیجه گیری

کارآیی رنگدانه های کاروتنوئیدی برای تجمع در بافت ماهیان به مواردی همچون نوع گونه (Kop and Durmaz, 2008)، اندازه گونه (Torrissen *et al*., 1989)، خصوصیات ژنتیکی ماهی و همچنین فرآیندهای متابولیسمی (Bjerkeng *et al*., 2007)، نوع (Kop and Durmaz, 2008)، مقدار (Torrissen *et al*., 1990) و ایزومرهای رنگدانه (Storebakken *et al*., 1987)، دوره تغذیه با رنگدانه، هضم و جذب رنگدانه (Torrissen *et al*., 1989) و عوامل محیطی مانند دما (Ytrestoyl *et al*., 2005) بستگی دارد. شناخت کامل تر اثر عوامل فوق بر رنگزایی رنگدانه های کاروتنوئیدی در آبزیان، به استفاده مؤثرتر رنگدانه ها در آبزی پروری (میزان رنگدانه کمتر، هزینه پایین تر و کیفیت بهتر) کمک می کند. پیشنهاد می شود مطالعات هماهنگی بر روی مکانیسم اثر کاروتنوئیدها در بافت های مختلف آبزیان، چه از نظر

[۸] Hue
[۹] Chroma

رنگ‌دهی و چه از نظر سایر خواص مطرح شده برای آن ها، و همچنین فاکتورهای مؤثر بر کارآیی رنگدانه های کاروتنوئیدی در آبزیان، صورت گرفته و نتایج این مطالعات جهت استفاده در اختیار بخش تولید قرار گیرد.

توصیه ترویجی

قبل از هر چیز، توصیه می شود از رنگدانه های کاملا طبیعی به منظور استفاده در جیره غذایی ماهیان خوراکی استفاده شود. کاروتنوئیدهایی همچون آستاگزانتین و کانتاگزانتین، بهتر است بعد از اوزان ۲۰۰ گرم در ماهی قزل آلای رنگین کمان و حداقل به مدت سی روز مورد استفاده قرار گیرند. حداقل مورد نیاز آستاگزانتین در ارتباط با این ماهی، بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی گرم در هر کیلوگرم غذا می باشد، که البته این مقدار بستگی به میزان خلوص رنگدانه مورد استفاده دارد. همچنین بهتر است غذای حاوی رنگدانه در اواسط روز که هوا گرم تر است، استفاده شود.

منابع

بلوریان، ش.، حسینی، ف.، رحیمی زاده، م.، فضلی بزاز، ص.، کریمی، م.، نجف نجفی، م.، ۱۳۹۰. رنگ های خوراکی طبیعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.۲۲۲ صفحه.

بهره مند، م.، آبایی، آ.، سلیمانی راد، آ.، ۱۳۹۳. بررسی **پتانسیل** استفاده از کاروتنوئیدها و سایر رنگدانه های طبیعی، به عنوان رنگ دهنده های خوراکی. اولین همایش ملی میان وعده های غذایی، ۱۰و۱۱ اردیبهشت ماه ۱۳۹۳، مشهد.

بهره مند، م.، خزایی، ا.، سلیمانی راد، آ.، ۱۳۹۲الف. بررسی مکانیسم انتقال کاروتنوئیدها و رتینوئیدها به تخمک و تخم **ماهیان**. سومین همایش ملی کشاورزی، آبزیان و غذا، ۲۸ و ۲۹ آذر ماه ۱۳۹۲، بوشهر.

بهره مند، م.، خزایی، ا.، سلیمانی راد، آ.، ۱۳۹۲ب. بررسی میزان کاروتنوئیدهای موجود در غذاهای زنده رایج در صنعت آبزی پروری ایران. سومین همایش ملی کشاورزی، آبزیان و غذا، ۲۸ و ۲۹ آذر ماه ۱۳۹۲، بوشهر.

Bahremand, M., Pirbeygi, A., Farhangi, M., Naserizadeh, M., 2012. Use of carotenoids in aquaculture, with emphasis on reproduction of ornamental fishes . First International Larviculture Conference In Iran. 11,12 December 2012. Karaj. Iran.

Basurco, B., Abellan, E., 1999. Finfish species diversification in the contex of the Mediterranean marine fish farming development. Cahiers Options Mediterraneans, Ser. B: Etudes et Recherches, 24: 9-25.

Bechtold, T., Mussak, R., 2009. Handbook of natural colorants. John Wiley and Sons, Ltd. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom. pp.412.

Bjerkeng, B., Folling, M., Lagocki, S., 1997. Bioavailability of all-E astaxanthin and Z-isomers of astaxanthin in rainbow trout (*Oncothynchus mykiss*). Aquaculture, 157: 63-82.

Bjerkeng, B., Hatlen, B., Wathne, E., 1999. Deposition of astaxanthin in filletes of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with herring capelin, sandeel or Peruvian high PUFA oils. Aquaculture, 180: 307-319.

Bjerkeng, B., Peisker, M., Von Schwartzenberg, K., Ytrestoyl, T., Asgard, T., 2007. Digestibility and muscle retention of astaxanthin in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with the red yeast (*Phaffia rodozyma*) in camparison with synthetic formulated astaxanthin. Aquaculture, 269: 476-489.

Booth, M., Warner-Smith, R., Allan, G., Glencross, B., 2004. Effect of dietary astaxanthin source and light manipulation

gairdner Richi) Campared to triploids. Aquaculture, 83: 359-366.

Choubert, G., De la Noii, J., Balance, 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.

Choubert, G., Luquet, P., 1983. Utilization of shrimp shell meal for rainbow trout (*salmo gairdner* Richi). Pigmentation. Influence of fat content of the diet. Aquaculture, 32: 19-26.

Ciapara, H., Valenzuela, L. F., Goycoolea, F. M., 2006. Astaxanthin: A review of its chemistry and applications. Critical Review in Food Science and Nutrition, 46: 185-196.

Dall, W., 1995. Carotenoids versus retinoids (vitamin A) as essential growth factors in panaeid prawns (*penaeus semisulcatus*). Marine Biology, 124: 209-213.

Delgado, C. L., Wada, N., Rosegrant, M. W., Meijer, S., Ahmed, M., 2003. Fish to 2020. Supply and Demand in Changing Global Market. International Food Policy Research Onstitute, Washington, DC, USA, 226 pp.

Goodwin, T. W., 1984. The Biochemistry of Carotenoids, 2nd ed. Chapman and Hall, London, pp. 64-96.

Gouveia, L., Rema, P., 2005. Effect of microalgal biomass cocentration and temperation on ornamental fish (*Cyprinus carpio*) skin pigmentation. Aquaculture Nutrition, 11: 19-23.

Güroy, B., Sahin, I., Mantoglu, S., Kayali, S., 2012. Spirulina as a natural carotenoid source on growth, pigmentation and reproductive performance of yellow tail cichlid *Pseudotropheus acei*. Aquaculture International, 20: 869–878.

on the skin colour of Austalian snapper (*Pagrus auraus*) (Bloch&Schneider, 1981) Aquaculture Research, 35: 458-464.

Braasch, I., Liedtke, D., 2011. Pigment genes and cancer genes. Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment. Elsevier, pp. 1971–1979.

Breithaupt, D. E., 2007. Modern application of xanthophylls in animal feeding. Trends in Food Science and Thecnology, 18: 501-506.

Britton, G., 1998.Overview of carotenoid biosynthesis. In: Britton, G., Liaaen-Jensen, S., Pfander, H. (Eds). Carotenoids, vol. 3. Brikäusen, Basel. p, 14-15.

Burri, B., 2000. Carotenoids and Gene Expression. Nutrition, 16: 577-578.

Chien, Y. H., Pan, C. H., Hunter, B., 2003. The resistance to physical stresses by *Panaeus monodon* juveniles fed diets supplemeneted with astaxanthin. Aquaculture, 216: 177-191.

Chien, Y. H., Shiau, W. C., 2005. The effect of dietary supplemeneted of algae synthetic astaxanthin on by astaxanthin, survival, growth, and low dissolved oxygen stress resistance of kuruwa prawn (*Pagrus Japonicus* Bate). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 318: 201-211.

Choubert, G., 1985. Effect of starvation and feeding on canthaxanthin depletion in the muscle of rainbow trout (*salmo gairdneri).* Aquaculture, 49: 293-298.

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, Chocheste, UK. P 183-196.

Choubert, G., Blanc, J. M., 1989. Dynamics of dietary canthaxanthin utilization in sexually maturing female rainbow trout (*salmo*

Johnson, E. A., An, G. H., 1991. Astaxanthin from microbial sources. Critical Review in Biotechnology, 11: 297–326.

Kalinowski, C. T., Robaina, L. E., Fernandez-Palacios, H., Schuchardt, D., 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.

Kop, A ., Durmaz, Y., 2008. The effect of synthetic and natural pigments on the colour of the cichlids (*Cichlasoma severum* Heckel 1840). Aquaculture International, 16: 117–122.

Landrum, J. T., 2010. Carotenoids: physical, chemical, and biological functions and properties. Taylor and Francis Group, LLC. USA. p 544.

Linan-Cabello, M. A., Paniagua-Michel, J., Zenteno-Savin, T., 2003. Carotenoids and retinal levels in captive and wild shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Aquaculture Nutrition, 9: 383-389.

March, B. E., Hajen, W. E., Deacon, G., MacMillan, C., Walsh, M.G., 1990. Intestinal absorbtion of astaxanthin, plasma astaxanthin concentration, body weight, and metabolicrate as determination of flesh pigmentation in salmonds fish. Aquaculture, 90: 313-322.

Meyers, S. M., Latscha, T., 1997. Carotenoids. In: Crustacean nutrition advances in world aquaculturc, (Abramo, L.R.D., Conkli, D. E., Akiyama, D. M., Eds.). World Aquaculturc Society, Baton Rouge, LA. 6: 164-193.

Miki, W., Yamaguchi, K., Konosu, S., Takane, T., Satake, M., Fujita, T., Kuwabara, H., Shimeno, S., Takeda, M., 1985. Origin of tunaxanthin in the integument of yellowtail (*Seriola quinqueradutta*). Biochemistry and Molecular Biology, 80 (2): 195-201.

No, H. K., Storebakken, T., 1991. Pigmentation of rainbow trout with astaxanthin at different water temperatures. Aquaculture, 97: 203-216.

Pavlidis, M., Papandroulakis, N., Divanach, P., 2006. A method for the comparison of chromaticity parameters in fish skin: preliminary results for coloration pattern of red skin Sparidae. Aquaculture, 258: 211-219.

Petit, H., Negre-Sadargues, G., Castillo, R., Trilles, J. P., 1997. The effects of dietary astaxanthin on growth and moulting cycle of post larval stages of the prawn, *Penaeus japonicus* (Crustacean, Decapoda). Journal of Comparative Biochemistry and Physiology, part A, 117: 539-544.

Raghaavan, V ., 2001. pigmentation in broilers. Feed Mix, 9(3): 14-15.

Schmidt, K., 1998. Absorption and metabolism of carotenoids in birds, fish and crustacean. In: Britton, G., Liaaen-Jensen, S., Pfander, H. (Eds). Carotenoids, vol. 3. Birkkusen, Basel, pp 285.

Scrimshaw, N. S., Guzman, M. A., Tandon, O. B., 1954. Effect of aureomycin and penicillin on growth of Guatemalan school children. Federation proceedings journal, 13: 477.

Sefc, K. M., Brown, A. C., Clotfelter, E. D., 2014. Carotenoid-based coloration in cichlid fishes. Comparative Biochemistry and Physiology, Part A, 173: 42–51.

Simpson, K. L., 1982. Carotenoid pigments in seafood. In: Martin, R. E., Flick, G. J., Hebard, C. E., Ward, D. R.. (Eds.). Chemistry and Biochemistry of Marine Food Products. AVI Publishing Co., Inc., Westport, Connecticut, p 115.

Storebakken, T., Foss, P., Schmidt, K., Austreng, E., Liaaen-Jensen, S., Mans, U., 1987. Carotenoids in diets for salmonids.

Wade, N. M., Cheers, S., Bourne, N., Irvin, S., Blyth, D., Glencross, B. D., 2015. Dietary astaxanthin levels affect colour, growth, carotenoid digestibility and the accumulation of specific carotenoid esters in the Giant Tiger Shrimp, *Penaeus monodon*. Aquaculture Research, 2015: 1–12.

Wang, Y. J., Chien, Y. H., 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.

Wathne, E., Bjerkeng, B., Storebkken, T., 1998. Pigmentation of Atlantic salmon (*salma solar*) fed astaxanthin in all meals or in alternating meals. Aquaculture, 159: 217-231.

Wouters, R., Lavens, P., Nieto, J., Sorgeloos, P., 2001. Penaeid shrimp broodstock nutrition: an updated review on research and development. Aquaculture, 202: 1-21.

Wyban, J., Martinez, G., Sweeney, J., 1997. Adding paprika to *Penaeus vannamei* maturation diet improves nauplii quality. World Aquaulture, 28: 59-62.

You, K., Yang, H., Liu, Y., Liu, S., 2006. Effects of different light sources and illumination methods on growth and body color of shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Journal of Aquaculture, 252: 557-565.

Ytrestoyl, T., Struksnaes, G., Koppe, W., Bjerkeng, B., 2005. Effects of temperature and feed intake on astaxanthin digestibility and metabolism in Atlantic salmon (*Salmo solar*). Comparative Biochemistry and Physiology, B, 142: 445- 455.

IV. Pigmentation of Atlantic salmon with astaxanthin, astaxanthin dipalmitate and canthaxanthin. Aquaculture, 65: 279-292.

Szisch, V., van der Salm, A. L., Wendelaar Bonga, S. E., Pavlidis, M., 2002. Physiological colour changes in the red porgy (*Pagrus pagrus*), following adaptation to blue lighting spectrum. Fish Physiology and Biochemistry, 27: 1-8.

Tangeraas, A., Maroey, T., Wahlstroem, S., Totland, G. K., Hegge, E, Sandberg, K., 1989. Release of astaxanthin from the yeast (*Phaffia rodozyma*) by high pressure homogenization. Program 1st International Marine Biotechnology Conferemce (IMBC-89). p 59.

Torrissen, O. J., 1984. Pigmentation of salmonids: Effect of carotenoids in eggs and start feeding on survival and growth rate. Aquaculture, 43:185-193.

Torrissen, O. J., 1989. Pigmentation of salmonids: Interactions of astaxanthin and canthaxanthin on pigment deposition in rainbow trout. Aquaculture, 79: 363-374.

Torrissen, O. J., Hardy, R. W., Shearer, K. D., 1989. Pigmentation of salmonids: Carotenoid deposition and metabolism. CRC Critical Reviews in Aquatic Sciences, 1: 209-225.

Torrissen, O. J., Hardy, R. W., Shearer, K. D., Scott, T. M., Stone, F. E., 1990. Effects of dietary canthaxanthin level and lipid level on apparent digestibility coefficients for cambaxanthin in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 88: 351-362.

Torrissen, O. J., Roth, G., Slinde, E., 1999. Effects of storage and slaughter temperature on fillet colour of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Farmed Fish Quality Conference, April 1999, Bristol, England.

Study of factors affecting the efficiency of carotenoid pigments in aquaculture

bahremand M.[1*]; Mahmoudi S.[2] ;Soleimanirad A.[3]

[1] Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj

[2] Graduate, Department of Renewable Energies and Environmental Engineering, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran

[3] Islamic Azad University, Karaj Branch, Young Researchers and Elite Club, Karaj

Abstract

Due to the rapid increase in human population, the need for food sources is also rising sharply. Aquatic organisms are one of the most important food sources. Due to no change in catch rates and even reducing in fish stocks, the way to achieve this amount of food is aquaculture. Other factor affecting the growth of the aquaculture industry, is its role in providing healthy and high-quality food products. One of the most important characteristics of edible aquatic animals, in evaluating its quality, is suitable color. Because of the high cost of creating and maintaining quality of colors in aquatic animals and also importance of color in the quality and economic value of aquaculture products, the aim of this study was to identify factors affecting the efficiency of carotenoid pigments on aquatic animals. The results showed that many factors affect the efficiency of carotenoids in aquatic animals, such as characteristics of aquatic species (species, sex, age and weight of species), type and source of the pigment, dosage and purity of the pigment, matrix in which the carotenoid is incomorated, amount and composition of diet, time and frequency of feeding, environmental factors (temperature, light, salinity), genetic factors, etc. This means we can not have a correct impression of carotenoids efficiency, without evaluating the interaction of all factors mentioned.

Keywords: carotenoids, feeding, aquaculture, astaxanthin, pigment.

*Corresponding author: bahremand.m@ut.ac.ir