



سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
معاونت آموزش و ترویج کشاورزی

کارت‌نویدها در آبزیان



موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور
سال ۱۴۰۰



سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
معاونت آموزش و ترویج کشاورزی

کاروتنوئیدها در آبریان

سرشناسه	کازمى، اسماعيل، ۱۳۶۵مرداد-
عنوان و نام پديدآور	کارتنوئیدها در آبیان/ اسماعیل کازمى، رقيه محمودى، سجاد نظرى؛ ويراستار ترويجى فرانک صحرایی، نصيبه پورفاتح؛ ويراستار ادبى مهشيد شيرمحمدلو؛ تهيه شده در معاونت آموزش و ترويج کشاورزى- دفتر شبکه دانش و رسانه‌هاى ترويجى.
مشخصات نشر	تهران: سازمان تحقيقات، آموزش و ترويج کشاورزى، معاونت آموزش و ترويج کشاورزى، نشر آموزش کشاورزى، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهرى	۲۴:ص: مصور (رنگى).
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۵۲۰-۹۸۳-۲:
وضعيت فهرست نويسى	فيا
موضوع	کاروتنوئيدها
موضوع	Carotenoids:
موضوع	آبیان
موضوع	Aquatic animals:
شناسه افزوده	محمودى، رقيه، ۱۳۶۰ -
شناسه افزوده	نظرى، سجاد، ۱۳۶۱-
شناسه افزوده	سازمان تحقيقات، آموزش و ترويج کشاورزى. دفتر شبکه دانش و رسانه‌هاى ترويجى
شناسه افزوده	سازمان تحقيقات، آموزش و ترويج کشاورزى. معاونت آموزش و ترويج کشاورزى. نشر آموزش کشاورزى
رده بندى کنگره	QP ۶۷۱ :
رده بندى ديوبى	۵۷۴/۱۹۲۱۸ :
شماره کتابشناسى ملي	۸۵۰۹۴۳۶:
اطلاعات رکورد کتابشناسى: فيا	

ISBN: 978-964-520-983-2

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۵۲۰-۹۸۳-۲



نشر آموزش کشاورزى

عنوان: کاروتنوئیدها در آبیان

نویسندگان: اسماعیل کازمى، رقيه محمودى و سجاد نظرى

مدیر داخلی: ویدا همتى

ویراستار ترويجى: فرانک صحرایی، نصيبه پورفاتح

ویراستار ادبى: مهشيد شيرمحمدلو

تهيه شده در: معاونت آموزش و ترويج کشاورزى- دفتر شبکه دانش و رسانه‌هاى ترويجى

ناشر: نشر آموزش کشاورزى

صفحه آرا: ناديا اکبريه

شمارگان: محدود

نوبت چاپ: اول، ۱۴۰۰

قيمت: رایگان

مسئولیت درستی مطالب با نویسندگان است.

شماره ثبت در مرکز فن آوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزى ۶۰۳۳۲ به تاریخ ۱۴۰۰/۰۷/۱۲ است.

نشانی: تهران، خیابان آزادى، بین نواب و رودكى، پلاک ۲۰۵، معاونت آموزش و ترويج کشاورزى

تلفن: ۶۶۴۳۰۴۵۵ | تلفکس: ۶۶۴۳۰۴۶۴ | کد پستی: ۱۴۵۷۸۹۶۶۸۱

مخاطبان

آبزی پروران
کارشناسان و مروجان پهنه‌های تولیدی

اهداف آموزشی

شما در این نشریه با ارزش غذایی و استفاده از کاروتنوئیدها در جیره غذایی
آبزیان آشنا می شوید.

فهرست مطالب

۷	مقدمه
۸	اهمیت استفاده از کاروتنوئیدها در تغذیه آبزیان
۱۱	انواع کاروتنوئیدها
۱۱	بتاکاروتن
۱۳	آستازانتین
۱۵	کانتازانتین
۱۶	لوتئین
۱۸	مقدار کاروتنوئیدها
۱۸	میزان پایداری کاروتنوئیدها
۱۹	قابلیت هضم کاروتنوئیدها
۲۰	فاکتورهای موثر بر عملکرد کاروتنوئیدها
۲۳	توصیه ترویجی

مقدمه

کاروتنوئیدها یکی از منابع اصلی تامین رنگ بدن آبزیان هستند. رنگ‌های مختلف بدن آبزیان با کاروتنوئیدهای خاص و همچنین ترکیبی از مولکول‌های پروتئین-کاروتنوئید حاصل می‌شوند. رنگ‌ها عامل مهمی هستند که در زندگی همه موجودات نقشی عمده را ایفا می‌کنند، رنگ بدن موجودات زنده تابع دو عامل ژنتیکی و تغذیه‌ای است. کاروتنوئیدها همان پیگمان‌های رنگی هستند که در محصولات گیاهی و جانوری یافت شده، ولی فقط گیاهان، قارچ‌ها و گروهی از باکتری‌ها و مخمرها آنها را تولید می‌کنند. این مواد با زنجیره غذایی وارد بدن جانوران می‌شوند. رنگدانه‌ها حقیقتاً در همه جای طبیعت یافت می‌شوند، به‌ویژه در موجوداتی که در معرض نور خورشید قرار دارند. تا سال ۱۹۸۷ بیش از ۵۶۳ نوع از انواع کاروتنوئیدها، صرف‌نظر از ساختمان سیس یا ترانس آنها شناخته شده بود. کاروتنوئیدها هر یک شعاعی خاص از نور را جذب می‌کنند، مثلاً زانتوفیل‌ها، متشکل از دو واژه یونانی زانتوس به معنای زرد و فیلون به معنای بزرگ، بیشتر زردرنگ هستند. از زانتوفیل‌ها می‌توان به لوتئین و زیرانتئین اشاره کرد. اصولاً کاروتنوئیدها در آب نامحلولند، به همین سبب طبیعتاً در حیوانات در بافت چربی یافت می‌شوند.

اهمیت استفاده از کاروتنوئیدها در تغذیه آبزیان

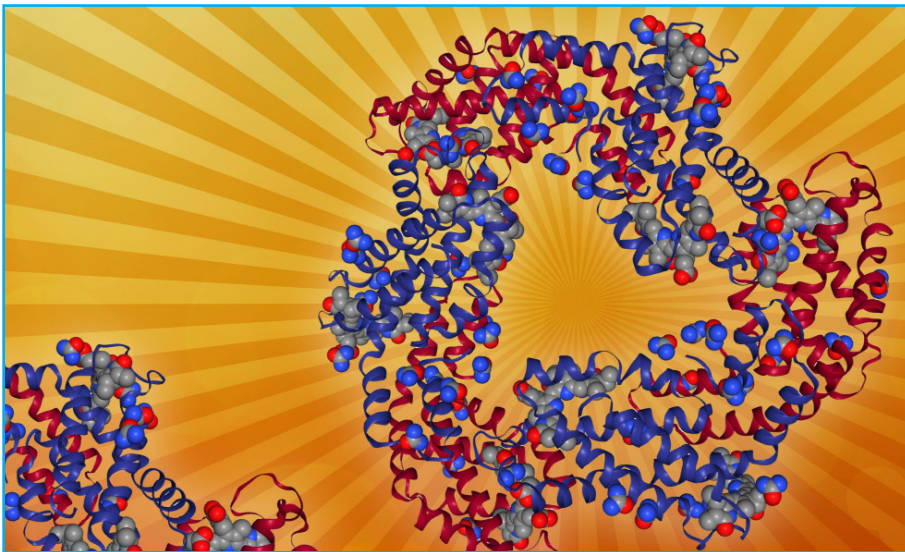
مسیر ایزوپرنوئید کاروتنوئیدها را تولید می‌کند، مسیری که طی آن ترکیبات متنوعی همچون اسیدهای چرب ضروری، استروئیدها، استرول‌ها و ویتامین‌های A، D، E و K ساخته می‌شوند و در تمام گیاهان و حیوانات وجود دارند. کاروتنوئیدها به دو گروه کاروتن و زانتوفیل تقسیم‌بندی می‌شوند. کاروتنوئیدهای آبزیان در عضلات، پوست و بافت‌ها موجود است. ماهیان کاروتنوئیدهای گوناگونی دارند که غالب بودن نوع کاروتنوئیدها وابسته به گونه ماهی است. کاروتنوئیدهای لوتئین با رنگ زرد مایل به سبز، بتاکاروتن با رنگ نارنجی، بتادورادانتین با رنگ زرد، زیازانتین با رنگ زرد مایل به نارنجی، کانتازانتین با رنگ نارنجی-قرمز، آستازانتین با رنگ قرمز، ایچینون با رنگ قرمز و تارازانتین با رنگ زرد، کاروتنوئیدهای رایج ماهی را شامل می‌شوند.

کاروتنوئیدها کلاً سیستم ایمنی اختصاصی و سیستم ایمنی غیراختصاصی بدن را بهبود می‌بخشند. به‌علاوه، عملکردهایی مثل: محافظت در برابر نور فرابنفش، ایفا کردن نقش پروویتامین A، بالابردن آستانه تحمل در برابر سطوح بالای آمونیاک و سطوح پایین اکسیژن (افزایش مقاومت در برابر استرس)، سرعت بخشیدن به رشد و سرعت بلوغ، ایفاکردن نقش هورمون بارورکننده در واکنش‌های تولیدمثلی و بهبود بخشیدن به کیفیت تخم‌ها را به کاروتنوئید نسبت می‌دهند. افزون بر این، برخی از کاروتنوئیدها مانند آستازانتین همچون آنتی‌اکسیدان قوی در جانوران دریایی عمل می‌کند.

همان‌طور که گفته شد، کاروتنوئیدها (شکل ۱) منبع اصلی رنگامیزی در ماهی‌های زینتی و ماهی‌های گرمسیری و مسئول رنگ‌های مختلف زرد، قرمز و رنگ‌های دیگر هستند. این کاروتنوئیدها معمولاً از ارگانسیم‌های حاوی کاروتنوئید موجود در زنجیره غذایی دریایی به دست می‌آیند؛ اما مواد غذایی دیگر همچون ذرت زرد، خوراک گلوتن ذرت و یونجه از منابع کاروتنوئیدهای زیازانتین و لوتئین به شمار می‌روند. از جمله دیگر مواد غنی‌شده با کاروتنوئیدها می‌توان به خوراک گل جعفری حاوی رنگدانه لوتئین، فلفل

قرمز و کریل یا خوراک تهیه شده با سایر سخت پوستان، که حاوی رنگدانه آستازانتین است اشاره کرد. به علاوه، کانتازانتین رنگ دهنده ای موثر برای ماهی گرمسیری گورامی است برای بهبود فرآیندهای تناسلی نیز استفاده می شود.

رنگ کاروتنوئیدها با کرومافورهای که دست کم از هفت زنجیره مضاعف ساخته شده ایجاد می شود. این رنگدانه ها معمولاً زرد تا قرمز هستند، اگرچه بتاکاروتن نارنجی است. کانتازانتین کرومافور بیشتری دارد و در نتیجه، نور را در طول موج های بالاتر جذب می کند؛ بنابراین، بیشتر رنگ صورتی ظاهر می شود. آستازانتین همان کرومافور کانتازانتین را دارد. در منابع طبیعی، کاروتنوئیدها همیشه شامل ترکیبی از رنگدانه های مختلف با غلظت ثابت هستند؛ به این ترتیب، کیفیت و چگونگی این رنگ ها بستگی به مقدار نسبی مصرف کاروتنوئید دارد.



شکل ۱- کاروتنوئید

آستازانتین و کانتازانتین از مهم ترین منابع کاروتنوئیدی مصنوعی هستند که با سنتز در آزمایشگاه ساخته و در آبی پروری استفاده می شوند. مخمر قرمز و برخی از جلبک ها نیز بعضی از منابع طبیعی آستازانتین به شمار می روند. از دیگر منابع

کاروتنوئیدی می‌توان به سخت‌پوستان و محصولات جانبی آن‌ها برای استفاده از آستازانتین موجود در بدنشان و بعضی از میکروارگانیسم‌ها مثل جلبک‌ها، با منابع متنوعی از کاروتنوئیدها اشاره کرد.

جلبک‌ها از مهم‌ترین منابع مصرفی مستقیم صدف‌ها و سخت‌پوستان پرورشی بوده، می‌توانند برای تغذیهٔ لارو ماهیان نیز به کار روند. ترکیبات غذایی گیاهی منبع کاربردی تولید رنگدانه بوده و امروزه، تحقیقاتی با موضوع پتانسیل به‌کارگیری این مواد در حال انجام است؛ اما با وجود قیمت بالا، استفاده از منابع رنگدانه مصنوعی به سبب سهولت تهیه رواج بیشتری دارد؛ البته در بسیاری از کشورها نیز هزینه بالا بی‌اقبالیت این منابع را در میان آکواریوم‌داران در پی داشته است.

گوشت ماهی آزاد وحشی اقیانوس‌ها و رودخانه‌ها با درجات مختلفی معمولاً قرمز، صورتی یا نارنجی است. سبب این رنگ کاروتنوئیدهای موجود در رژیم غذایی ماهی و معمول‌ترین کاروتنوئید در آزادماهیان آستازانتین، کانتازانتین و لوتئین است. سطح متفاوت کاروتنوئیدها در ماهیان آزاد تفاوت در طعمه‌ها، اندازه ماهی، مرحله بلوغ و ... را نشان می‌دهد. در ماهی‌های آزاد پرورشی، آستازانتین و کانتازانتین را مانند مکمل غذایی برای به دست آوردن رنگ گوشت دلخواه به رژیم غذایی ماهی اضافه می‌کنند. رژیم‌های غذایی که برای رنگ‌دهی به ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان یا ماهی آزاد اقیانوس آرام در نظر می‌گیرند، معمولاً ۱۰۰-۵۰ میلی‌گرم رنگدانه بر کیلوگرم از کل غذا را شامل می‌شود. حداقل میزان رنگدانه لازم برای دستیابی به رنگ دلخواه گوشت، ۴ تا ۵ میلی‌گرم رنگدانه بر کیلوگرم غذا شناخته می‌شود.

کاروتنوئیدها برای برای سلامتی جانداران مفید و عاملی مهم در بازپسندی آبزیان هستند، گروهی بی‌نظیر از بتاکاروتن، آلفاکاروتن و بتاکریپتوزانتین، پیش‌ماده‌های سازنده ویتامین A در جانداران را دارند. به‌علاوه کانتازانتین در آزادماهیان نیز به رتینول تبدیل می‌شود که تاثیر فراوانی بر بینایی دارد. در برخی از ماهیان آب شیرین نیز کاروتنوئیدهای لوتئین، زیازانتین و آستازانتین مواد سازنده ۳-۴ دهیدرورتینول (ویتامین A2) در برخی از ماهیان گزارش شده‌اند.

از دیگر قابلیت‌های کاروتنوئیدها، استفاده از آنها در تغییر رنگ گوشت ماهیان پرورشی است. برای نمونه، آستازانتین‌های طبیعی به‌دست آمده از مخمر قرمز و جلبک هماتوکوکوس پلاویالیس و منابع مصنوعی آن، کاربردی گسترده برای تغییر رنگ گوشت آزادماهیان، ماهیان قزل‌آلا و ماهی سیم دریایی دارد. بنابر نتیجه تحقیقات، برتری انتخاب کاروتنوئیدها نسبت به یکدیگر، به تفاوت در نوع و گونه ماهی یا هر آبی مورد نظر دیگر بستگی دارد. به‌علاوه، گیرنده‌های دریافت کننده کاروتنوئیدی در برخی از آبزیان، قابلیت جذب بیشتر یکی از انواع کاروتنوئیدها را نسبت به سایر رنگدانه‌ها دارند؛ برای نمونه، در آزاد ماهیان قابلیت جذب آستازانتین نسبت به کانتازانتین بالاتر است و این نسبت در برخی از ماهیان زینتی و گونه‌های دریایی زرد رنگ مثل ماهی دم‌زرد، درباره رنگدانه لوتئین، که از گل گیاه جعفری استخراج می‌شود، نسبت به سایر رنگدانه‌ها صدق می‌کند. از این‌رو، از رنگدانه زیازانتین که از جلبک اسپیرولینا به دست می‌آید، برای ایجاد رنگ قرمز در ماهیان زینتی مانند کپور زینتی استفاده می‌شود.

انواع کاروتنوئیدها

بتاکاروتن

بتاکاروتن (β -Carotene) یک رنگدانه طبیعی قرمز - نارنجی (شکل ۲) در هویج، سیب‌زمینی شیرین و زردآلو است که باعث ایجاد رنگ نارنجی آن‌ها شده است. این کاروتنوئید یکی از بیشترین رنگدانه‌های طبیعی موجود و ساختار آن شامل دو واحد تک‌یونی بتایی است. رنگدانه بتاکاروتن پیش‌ساز ویتامین A است که بر اثر شکسته شدن تبدیل به دو مولکول ویتامین A و ایفای عملکردی مشابه با این ویتامین در جیره غذایی ماهیان، باعث بهبود دگردیسی در ماهیان جوان و کاهش درصد ناهنجاری در هنگام جلدشدن چشم‌ها از یکدیگر طی دوره جنینی می‌شود.

بتاکاروتن آنتی اکسیدانی است که قابلیت جذب رادیکال های آزادی را دارد که مانع پیری و آسیب بافت ها می شوند و به سبب خاصیت آنتی اکسیدانی و ضدسرطانی، این رنگدانه در تهیه مکمل های غذایی و مواد دارویی به کار می رود. تحقیقات نشان داده که مصرف جیره های غذایی غنی از آنتی اکسیدان، باعث افزایش سیستم ایمنی بدن آبزیان در برابر رادیکال های آزاد می شود. جلبک دونالیا از جمله جلبک های ریز دریایی و منبع غنی از رنگدانه بتاکاروتن است. تغذیه با جلبک دونالیا، به سبب وجود مقدار فراوان بتاکاروتن بر میزان فعالیت کمپلمان (عامل مکمل) و لیزوزیم افزوده و در نهایت، باعث افزایش سطوح ایمنی بدن موجود می شود.

محققان اثر جلبک دونالیا را روی فاکتورهای رشد، درصد بقا، رنگ پوست، گوشت و همچنین توانایی آنتی اکسیدانی آن را بر ماهی قزل آلا ی رنگین کمان بررسی کردند و نتیجه این آزمایش نشان داد که بتاکاروتن، باعث افزایش رنگدانه در پوست و گوشت ماهی، افزایش وزن، کاهش درصد تلفات و در نهایت باعث افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی می شود. تاثیر پودر خشک شده این جلبک، که حاوی بتاکاروتن بود، روی رشد، عملکرد ایمنی و کاهش بیماری در میگوی ببری سیاه آزمایش شد؛ علاوه بر افزایش وزن، استرس، عفونت و ویروسی سندرم بیماری لکه سفید را کاهش داد. لازم به ذکر است که شدت رنگ در این میگو، با مقدار دونالیا موجود در جیره غذایی ارتباط مستقیم دارد.

محققان گیاه پنیرک و گشنیز حاوی بتاکاروتن طبیعی را همچون جایگزینی برای کاروتنوئیدهای مصنوعی به کار بردند و نتیجه گرفتند که رنگدانه های طبیعی پنیرک و گشنیز در ایجاد تغییرات رنگ در پوست ماهی گورامی، تاثیر چشم گیری دارد. همچنین این محققان بیان کردند که گلبرگ گل رزچینی که بتاکاروتن طبیعی دارد، موجب افزایش رنگ پوست ماهی طلایی می شود.



شکل ۲- بتاکاروتن

آستازانتین

آستازانتین (۳ و ۳- β دی هیدروکسی، β -کاروتن -۴، ۴ دی اون) کتوکاروتنوئید قرمز رنگی است (شکل ۳) که در گیاهان، جانوران، باکتری ها و قارچ ها شناسایی شده است. به سبب افزایش استفاده از مواد مغذی برای بهبود رشد، این رنگدانه از فاکتورهای ضروری برای رشد در بسیاری از سخت پوستان و ماهیان به شمار می آید. خروج متابولیت های داخلی از دیواره تخم، اهمیت بسیار بالایی در سلامت جنین دارد که کاروتنوئیدهای داخل تخم در مراحل جنینی و لاروی مسئول تامین سلامت لاروها هستند. گل گیاه آلاله وحشی مقادیر جالب توجهی آستازانتین استری دارد که گاهی به صورت تجاری استفاده می شود. همچنین، این ماده پراکندگی گسترده ای در جانوران دریایی دارد و رنگ قرمز تا صورتی گوشت ماهی آزاد، قزل آلا و سخت پوستان را به این کاروتنوئید نسبت داده اند. به علاوه، در ترکیب با پروتئین ها و لیپیدها، انواع رنگ های آبی، سبز و بنفش را در موجودات دریایی ایجاد می کند؛ به همین سبب، این ماده کاربردی گسترده برای رنگ کردن گوشت ماهی های پرورشی در صنایع شیلات دارد. آستازانتین با داشتن خاصیت ضدسرطانی، آنتی اکسیدانی و افزایش پاسخ ایمنی بدن در صنایع دارویی نیز به

کار می‌رود، این رنگدانه طبیعتاً در مخمر قرمز و جلبک هماتوکوکوس تولید می‌شود. این جلبک دوتاژکی ساکن آب شیرین بوده و در شرایط تنش، مقدار زیادی آستازانتین تولید و در سیتوپلاسم خود ذخیره می‌کند. تجمع آستازانتین در جلبک هماتوکوکوس، با تغییر مورفولوژیک سلول‌های سبز تاژک‌دار (سلول رویشی) به اسپورهای غیرمتحرک (کیست) قرمز غنی از آستازانتین همراه است. احتمال می‌رود که مولکول‌های منفرد اکسیژن نقش موثری در تحریک بیوسنتز آستازانتین در این جلبک‌ها ایفا می‌کنند. تحقیقات نشان داد که شوری، کمبود فسفات و مصرف ائوزین کیست‌زایی را تحریک و در نتیجه تشکیل آستازانتین را افزایش می‌دهد. افزودن هیستیدین به محیط کشت این جلبک همچون خاموش‌کننده مولکول‌های منفرد اکسیژن بوده، تشکیل اکسیژن تحت شرایط کمبود فسفات کاهش می‌یابد. از این‌رو، انباشته شدن آستازانتین در این جلبک، وابسته به پاسخ‌های آنتی‌اکسیداتیوش است که زنده‌مانی این جلبک را در شرایط دشوار محیطی افزایش می‌دهد. برخی از محققان معتقدند که احتمالاً آستازانتین منبعی کم‌اهمیت برای تولید ویتامین A در مرحله رشد و نمو جنینی تخم بوده، اما در مرحله نوزادی و زمانی که کبد در حال توسعه است، نقش این ماده پیش‌ساز ویتامین A ضروری‌تر به نظر می‌رسد.

تحقیقات انجام شده نشان داده‌است که میزان رنگ‌پذیری عضلات ماهی آزاد پرورشی و قزل‌آلای رنگین‌کمان، با افزایش میزان چربی در جیره‌های حاوی رنگدانه آستازانتین افزایش یافته است. آستازانتین موجود در جیره‌های دارنده چربی، همراه با نمک‌های صفراوی، اسیدهای چرب و دیگر ویتامین‌های محلول در چربی از روده جذب می‌شوند. محققان معتقدند که جذب آستازانتین همراه با اسیدهای چرب در روده، به آرامی به تری‌اسیل‌گلیسرول (TAG) تبدیل شده و آستازانتین یا دیگر زانتوفیل‌های شبیه به آن همراه با TAG، لیپوپروتئین‌هایی به نام چیلومیکرون تشکیل می‌دهند و سپس به خون منتقل می‌شوند. آستازانتین و دیگر رنگدانه‌های زانتوفیل بر اساس قطبیت سلولی خود به سطح چیلومیکرون‌ها متصل می‌شوند.



شکل ۳- آستازانتین

کانتازانتین

کانتازانتین (Canthaxanthin) ترکیب شیمیایی با جرم مولی ۵۶۴/۸۲ (گرم بر مول) است. فرمول شیمیایی آن $C_{40}H_{52}O_2$ ، از گروه کاروتنوئید بوده و شکل ظاهری این ترکیب، بلورهای ارغوانی است (شکل ۴). این رنگدانه در بدن برخی از جانداران مختلف مانند شانک ماهیان دیده می شود. کانتازانتین برای تقویت پیگمانتاسیون (سلول های رنگدانه ای) زرده تخم مرغ های تولیدی و جوجه های گوشتی استفاده می شود. این پیگمان عملکردهای فیزیولوژیکی بسیاری را بر عهده دارد و در زمان کمبود ویتامین A به این ویتامین تبدیل می شود. یکی از منابع رنگدانه کانتازانتین پریان میگوها هستند که در مقایسه با غذای کنسانتره در مولدین ماهیان زینتی آب شیرین، نه تنها موجب افزایش تعداد تخم، بهبود تخم گشایی و کاهش زمان لازم تا تخم ریزی می شود، بلکه تولید رنگ های بسیار زیبایی در آن ها را نتیجه دهد. استفاده از پریان میگوها همچون غذای زنده، تشکیل رنگدانه را در میگو و ماهی قرمز حوض بهبود می بخشد. پریان میگوها از نظر مقدار ماده مغذی، قابل مقایسه با آرتمیا بوده و ترکیبات کاروتنوپروتئینی، کاروتنوئیدی با مقدار فراوانی از آستاگزانتین، کانتاگزانتین و آنتراگزانتین را دارند.



شکل ۴- کانتازانتین

لوتئین

لوتئین رنگدانه بزرگ زرد رنگ گیاهی است (شکل ۵) که در عصاره گل همیشه‌بهار، علف یونجه و گلبرگ‌های جعفری یافت می‌شود و آنتی‌اکسیدانی فعال در بافت‌های مختلف است. منابع غذایی حاوی لوتئین گیاهان سبز تیره، سبزیجات نشاسته‌دار، پوست تخم‌مرغ و میوه‌جات را شامل می‌شود. این رنگدانه قابلیت جذب و تثبیت در عضله آزادماهیان را داشته؛ بنابراین، جایگزینی رنگدانه گیاهی با رنگدانه مصنوعی امری مهم است. در حال حاضر، از آستاگزانتین مصنوعی برای رنگ‌پذیری آزادماهیان استفاده می‌شود، ولی می‌توان از کاروتنوئیدهای گیاهی نیز برای این منظور استفاده کرد.

محققان تاثیر رنگدانه گیاهی لوتئین بر رشد و فاکتورهای خونی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان را بررسی و گزارش کردند که استفاده از این رنگدانه در جیره غذایی، تاثیر مثبتی بر فاکتورهای ذکر شده دارد. همچنین محققان تاثیر فلفل دلمه‌ای قرمز بر رشد، رنگ‌پذیری بافت و فاکتورهای خونی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان را بررسی کردند که

نتایج این تحقیق نشان از تاثیر مثبت این رنگدانه گیاهی بر فاکتورهای یاد شده داشت. رنگدانه گیاهی لوتئین اثرات منفی بر سلامتی ماهی آزاد دریای خزر نداشته، تاثیر مثبت بروز می دهد. از جمله علل احتمالی افزایش وزن می توان به اثر مثبت کاروتنوئیدها بر متابولیسم، تسریع هضم و جذب و افزایش بهره وری از مواد مغذی اشاره کرد.

احتمالا یکی از مهم ترین عوامل بهبودبخشی شرایط رشد در ماهیان تغذیه شده با رژیم غذایی حاوی رنگدانه لوتئین، نقش مثبت این رنگدانه در ارتقای شرایط ایمنی ماهیان است. در کل، رنگدانه ها به سبب خاصیت آنتی اکسیدانی مناسب و تقویت سیستم ایمنی، مقاومت را افزایش داده و در نهایت، باعث کاهش استرس و بقای بیشتر ماهیان و همچنین بهبود شرایط رشد می شوند. افزودن رنگدانه لوتئین، حاوی میزان بالایی از ویتامین A آنتی اکسیدان است، به جیره غذایی باعث افزایش بقا شد.



شکل ۵- لوتئین

مقدار کاروتنوئیدها

مقدار رنگدانه کاروتنوئید در غذای ماهی روی رنگدانه بدن تاثیرگذار است. تثبیت کاروتنوئیدها در ماهیچه زمانی افزایش می‌یابد که مقدار رنگدانه‌های مصرف‌شده زیاد باشد. با این حال، اگر افزایش رنگدانه از مقدار مشخصی فراتر برود، هیچ اثری ندارد. این محدودیت که برای کانتزانترین نزدیک به صد میلی گرم بر کیلوگرم است، شاید به اشباع پتانسیل جذب مربوط شود. همچنین، تثبیت کانتزانترین کمتر از آستازانتین بوده و این تفاوت جذب بهتر آستازانتین را نشان می‌دهد. بنا بر نظر محققان، منابع مختلف کاروتنوئید جیره بر رشد و زندهمانی ماهی تاثیری ندارد. به همین ترتیب نیز گزارش شده که در مدت ۲۲ هفته پرورش، مکمل آستازانتین به میزان هفتاد میلی گرم به ازای هر کیلوگرم جیره، اثری بر روی رشد آزادماهی اقیانوس آرام نداشته است؛ ولی محققان دیگری نیز اظهار داشته‌اند که تغذیه با گلبرگ گل همیشه بهار، به مقدار ۱۵ گرم به ازای هر صد گرم به مدت شصت روز، میزان رشد ماهی دم‌شمشیری قرمز پرورش یافته را افزایش می‌دهد.

میزان پایداری کاروتنوئیدها

پایداری کاروتنوئیدهای ترکیب‌شده در غذای ماهی زیاد نیست؛ بنابراین، باید در مقابل اکسیداسیون، دلیل اصلی کاهش آن، احتیاط شود. به همین سبب، با پوشاندن آنها با ژلاتین یا با پراکنش در کربوهیدرات حامل ماده، از رنگدانه‌های مصنوعی محافظت می‌شود. همچنین غذادهی می‌تواند در فضای خنثی، بلافاصله پس از تولید انجام شود. به این ترتیب، خطر اکسیداسیون به میزان زیادی کاهش می‌یابد. افزون بر این، آنتی اکسیدان‌ها پایداری کاروتنوئیدها را با توجه به اکسیداسیون افزایش می‌دهند. پلت‌های غذایی باعث از دست دادن بخش چشم‌گیری از رنگدانه‌های کاروتنوئیدی می‌شوند (مثلاً این مقدار برای کانتزانترین حدود بیست و درصد برآورده می‌شود)، این آسیب باعث می‌شود تا کاروتنوئیدها در پلت‌ها (شکل ۶) بر اثر افزایش نواحی سطحی در معرض هوا، به سرعت تخریب شوند.



شکل ۶- پلت حاوی رنگدانه

قابلیت هضم کاروتنوئیدها

جذب و ذخیره کاروتنوئیدها به ساختمان شیمیایی، قابلیت انحلال و قابلیت ماند شدن این ترکیبات با سایر مولکول‌ها بستگی دارد. برای نمونه، بتاکاروتن‌ها در بدن آبزیان به آرامی جذب و با ضریب بسیار پایینی به آستازانتین تبدیل می‌شوند، اما به نظر می‌رسد که فرم مولکولی آلفا کاروتن در بدن ماهیان زینتی با قابلیت بالاتری ذخیره و جذب می‌شود. خلاف کاروتنوئیدها، روند جذب و ذخیره گزانتوفیل‌ها در بدن آبزیان به خوبی پیش می‌رود؛ برای نمونه، لوتئین از خانواده گزانتوفیل‌ها، ابتدا به فرم استر در سلول‌های رنگدانه‌ای ذخیره شده و مقدار اضافی آن به بخش‌های سفید رنگ ماهی نفوذ می‌کند. در مصرف رنگدانه‌های طبیعی در خوراک ماهیان، باید دقت شود تا موجود از جیره غذایی مقدار کافی رنگدانه را دریافت کند. پس از مصرف، رنگدانه‌های کاروتنوئیدی با مدفوع دفع یا در بدن جانور جذب می‌شوند. ازسوی دیگر، باید متذکر شد که هیچ تغییر شکل یا تبدیلی در رنگدانه کانتازانتین، در برخی از گونه‌های ماهی قزل‌آلا مشاهده نشده است. افزون بر آن، کاروتنوئیدها ترکیبات محلول در چربی هستند که جذب آن‌ها

وابسته به جذب چربی و هضم‌پذیری آن‌ها نیز متاثر از مقدار چربی موجود در جیره غذایی است. طی مقایسه‌ای ثابت شد آستازانتین که همراه با چربی باشد، قابلیت هضم بالاتری (۸۵-۹۰ درصد) نسبت به آرد میگو (۷۵-۸۰ درصد) دارد. همچنین هضم‌پذیری کاروتنوئیدها تابعی از شکل و ماهیتشان نیز به شمار می‌رود. از این‌رو، برای نمونه می‌توان گفت قابلیت هضم آستازانتین از ۶۰-۱۰ درصد متغیر بوده و گاهی بسته به منشا آن بیشتر است، درحالی‌که، هضم‌پذیری کانتازانتین به ۳۰-۲۰ درصد می‌رسد. آستازانتین در شکل استری نسبت به شکل آزاد آن قابلیت هضم بالاتری دارد. به نظر می‌رسد که آستازانتین بیشتر برای مصرف ماهیان آزاد استفاده شده است.

روش دیگر بررسی قابلیت استفاده و دسترسی به کاروتنوئیدها اندازه‌گیری مقدار رنگدانه‌های موجود در خون ماهی است. بررسی‌ها نشان داده رنگدانه کانتازانتین سه ساعت پس از خوردن غذا در سرم خون یافت می‌شود و بیشترین غلظت آن ۲۴ ساعت بعد از مصرف غذا بوده که این زمان برای رنگدانه آستازانتین کمتر است.

فاکتورهای موثر بر عملکرد کاروتنوئیدها

از میان عوامل بسیاری که بر عملکرد کاروتنوئید تاثیر می‌گذارند، منبع رنگدانه، شکل و غلظت، ساختار رژیم غذایی به‌ویژه ساختارهای حاوی چربی، اندازه ماهی، شرایط بدنی، بلوغ جنسی و زمینه‌های ژنتیکی از مهم‌ترین موارد تاثیرگذار هستند. محققان با تمرکز مطالعه بر قابلیت هضم یا جذب رودهای، متابولیسم و دفع کاروتنوئیدها، همگی بر بهره‌وری و استفاده از کاروتنوئیدها در رژیم غذایی توافق نظر دارند. برای نمونه میزان جذب آستازانتین بر غلظت به‌کاررفته تاثیر دارد.

محققان تاثیر شوری و دمای آب بر رنگ‌پذیری و تجمع ماده رنگی در گوشت ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان را با استفاده از رژیم غذایی آماده‌شده با رنگدانه آستازانتین و کانتازانتین، در آب شور و شیرین بررسی کردند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد، شوری آب محل پرورش بر ساختار کاروتنوئید اثر نداشته و کاروتنوئیدهای رژیم غذایی بدون تغییر

در گوشت ماهی مشاهده شدند. با وجود اینکه، معمولاً رنگدانه آستازانتین در پوست دیده می‌شود، در ماهیان تغذیه‌شده با رژیم غذایی حاوی رنگدانه کانتازانتین، همین رنگدانه بدون تبدیل به آستازانتین، در پوست مشاهده شد. از سویی دیگر، تحقیقات درباره رنگ‌آمیزی با آستازانتین در دمای ۵ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد در اثبات تفاوت‌ها در حفظ کاروتنوئیدها، به شگفتی انجامید و نتایج نشان داد پوست قزل‌آلای رنگین‌کمان با وجود دمای پایین‌تر، کاروتنوئیدهای بیشتری را در خود ذخیره کرده که این امر نشان از تاثیر بهتر دماهای پایین در جذب رنگدانه‌ها دارد.

محققان ثابت کردند، به سبب تقدم جذب در دستگاه گوارش و همچنین رسوب در گوشت، رنگدانه آستازانتین در گوشت (شکل ۷) ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان، بسیار راحت‌تر از کانتازانتین رسوب می‌شود.

با ترکیب دو رنگدانه در رژیم غذایی، رسوب بیشتر کاروتنوئید نسبت به رسوب هر یک از آن‌ها اتفاق افتاد و نشان داد که با افزایش وزن ماهی، میزان رسوب نیز بیشتر می‌شود که این امر بیانگر اثر وزن ماهی بر میزان عملکردهای کاروتنوئیدها است. همچنین محققان مشاهده کردند که ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان از آستازانتین استری‌نشده $1/3$ تا $1/5$ برابر بیشتر و بهتر از کانتازانتین استفاده می‌کنند. این نتیجه به سبب توانایی بیشتر اکتومیوزینه‌ای ماهیچه‌ای در جذب آستازانتین، و تبدیل‌های متابولیکی بهتر کانتازانتین است. مقادیر گزارش شده برای حفظ کاروتنوئیدهای رژیمی متفاوت است؛ برای نمونه این میزان در ماهی قزل‌آلا، برای آستازانتین از ۳ تا ۱۸ درصد و برای کانتازانتین ۲ تا ۷ درصد متغیر است.



شکل ۷- بافت ماهی قزل آلا تغذیه شده با غذای حاوی رنگدانه

توصیه ترویجی

کارایی منبع کاروتنوئیدی برای ذخیره‌سازی و تولید رنگدانه، به گونه ماهی بستگی دارد. گلدفیش رنگدانه گزانتوفیلی زرد زئاگزانتین را به رنگدانه کاروتنوئیدی قرمز آستاگزانتین تبدیل می‌کند، در مقابل، ماهی قزل‌آلا آستاگزانتین را به زئاگزانتین تبدیل می‌کند. ماهیان زینتی به‌ویژه گلدفیش‌ها توانایی ساخت کاروتنوئیدها را ندارند؛ بنابراین، برای ایجاد رنگ مطلوب در آنها، باید کاروتنوئیدهای گیاهی و جانوری را با جیره غذایی دریافت کنند. رابطه مستقیمی بین مصرف کاروتنوئید و رنگدانه‌های موجود در ماهیان وجود دارد، در صورتی که، بتوان با تجویز غذاهای غنی از رنگدانه، رنگ ماهیان را بهبود بخشید، به یقین کیفیت و قیمت ماهی‌ها افزایش خواهد یافت. به سبب نگرانی از افزودنی‌های ساختگی و هزینه بالای مصرف کاروتنوئیدهای مصنوعی، استفاده از جایگزین‌هایی طبیعی حاوی ترکیبات بتاکاروتن، مثل گیاه پنیرک، گشنیز، پودر گل همیشه‌بهار و گلبرگ گل رز چینی توصیه می‌شود.

پیشنهاد می‌شود که از منابع گیاهی و جانوری حاوی کاروتنوئیدهای موجود در کشور به سبب گران بودن رنگدانه‌های کاروتنوئیدی سنتزی استفاده شود و با دستیابی به فناوری خالص‌سازی این رنگدانه‌های زیستی، به‌ویژه آستاگزانتین برای کاهش تنش‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژیک به کار رود. استفاده از کاروتنوئیدها در جیره غذایی مولدین نر و ماده، برای تکثیر موفق، فراهم آوردن نسلی با کیفیت و کمیت بهتر و تعیین سطوح بهینه این رنگدانه‌ها در شرایط مختلف پرورشی اهمیت خاصی دارد. برای تاثیرگذاری بیشتر رنگدانه‌ها در ماهیان زینتی، بهتر است غذای مولدین حاوی رنگدانه باشد تا تخم و لاروهای حاصله رنگ‌پذیری و بازارپسندی لازم را داشته باشند. درباره آبزیانی که مصرف خوراکی دارند، بهترین زمان ممکن برای استفاده از رنگدانه‌ها در خوراک، مرحله پروراری (شکل ۸) است. غذاهای حاوی رنگدانه بهتر است در محیط خشک و روی چهارپایه فلزی، با ارتفاع بیست سانتی‌متری از سطح زمین، نگهداری و نهایتاً در دوره‌ای دو ماهه استفاده شوند.



شکل ۸- بافت ماهی پروراری

تجمع ماده رنگی کاروتنوئیدی در پوست و عضلات ماهی بر بازار پسندی آن بسیار تاثیرگذار است بنابراین اضافه کردن این ترکیبات به میره غذایی ماهیان پرورشی ضروری است

