بسم الله الرحمن الرحيم
إنه من سليمان وإنه

دانشکده شیلات و محیط زیست

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی‌ارشد در رشته
تکثیر و پرورش آبزیان

اثرات رژیم تغذیه‌ای کاروتنوئیدی بر فاکتورهای رشد و رنگی شدن ماهی سیچلاید طاووسی (*Aulonocara baenschi*)

پژوهش و نگارش:
فاهمه بوژمهرانی

استاد راهنما:
دکتر ولی‌اله جعفری

استاد مشاور:
دکتر محمدرضا ایمانپور

پاییز ۱۳۹۲

تعهدنامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه‌های تحصیلی دانشجویان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مبین بخشی از فعالیت‌های علمی- پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود؛ بنابراین به‌منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

۱- قبل از چاپ پایان‌نامه خود، مراتب را قبلا به‌طور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع داده و کسب اجازه نمایند.
۲- قبل از چاپ پایان‌نامه در قالب مقاله، همایش، اختراع و اکتشاف و سایر موارد، ذکر نام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان الزامی است.
۳- انتشار نتایج پایان‌نامه باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب **فاهمه بوژمهرانی** دانشجوی رشته **تکثیر و پرورش آبزیان** مقطع **کارشناسی‌ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی و امضاء

تقدیم به

پدر عزیز و مادر مهربانم

همسر فداکارم

و پسر کوچولوی دوست داشتیم امیر علی

تشکر و قدردانی

از جناب آقای دکتر جعفری که همواره با راهنمایی های ارزنده در مراحل تحقیق همراه من بودند و جناب آقای دکتر ایمانپور که مسؤلیت مشاوره این پایان نامه را بر عهده داشتند ، صمیمانه تشکر و قدردانی می کنم .

از جناب آقای دکتر گلنگی به خاطر تقبل زحمت داوری این تحقیق کمال تشکر را دارم .

از سرکار خانم دکتر جرجانی به پاس محبت های بی دریغشان صمیمانه سپاس گذاری می نمایم .

از جناب آقای دکتر جافر که امکانات لازم را در اختیار بنده قرار دادند و نهایت همکاری را با من نمودند تشکر می کنم .

در پایان از محبت ها ، دلگرمی ها ، همکاری ها و همیاری های تمامی کسانی که در این مدت همراه من بوده اند کمال تشکر و قدردانی را دارم و روزهایی سرشار از موفقیت و سلامتی را برایشان آرزو می کنم .

چکیده

هدف از مطالعه حاضر، تعیین اثرات رژیم غذایی مکمل شده با کاروتنوئید بر فاکتورهای رشد و رنگی‌شدن در ماهی سیچلاید طاووسی (*Aulonocara baenschi*) از ماهیان زینتی بود. این آزمایش در قالب یک طرح کاملا تصادفی با ۹ تیمار و ۳ تکرار اجرا شد. دو نوع کاروتنوئید، آستاگزانتین و بتاکاروتن، در دو سطح ٤٠ و ۱۰۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم غذا بر جیره تجاری اسپری شد و یک جیره بدون کاروتنوئید به عنوان جیره شاهد در نظر گرفته شد. ماهیان به‌مدت ۸ هفته غذادهی شدند. اندازه‌گیری میزان کاروتنوئید کل موجود در پوست ماهیان هر ۲ هفته یکبار انجام گرفت. نتایج نشان داد که ماهیان تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی، در مقایسه با تیمار شاهد، اختلاف معنی‌داری در وزن به‌دست آمده، ضریب تبدیل غذایی و ضریب رشد ویژه نداشتند ($p>۰/۰۵$). میزان کاروتنوئید کل در پوست ماهی و رنگی‌شدن، با افزایش غلظت رنگدانه‌ها در جیره غذایی افزایش یافت. تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای تغذیه‌ای در میزان کاروتنوئید کل وجود داشت ($p<۰/۰۵$). نسبت نهایی بالاتر کاروتنوئید کل در تیمار تغذیه‌ای حاوی ۱۰۰ میلی‌گرم آستاگزانتین و ۱۰۰ میلی‌گرم بتاکاروتن نشان می‌دهد که جیره غذایی با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم از ترکیب رنگدانه‌های آستاگزانتین و بتاکاروتن بیشترین درصد تجمع رنگدانه در پوست را دارا بوده است و این تیمار دارای بیشترین رنگیزگی در بین تیمارها بود.

کلمات کلیدی: ماهی سیچلاید طاووسی (*Aulonocara baenschi*)، کاروتنوئید، آستاگزانتین، رنگی شدن، بتاکاروتن.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ کلیات ٤

۱-۲-۱ سیچلاید طاووسی و خاستگاه آن ٤

۱-۲-۲ کاروتنوئیدها ٦

۱-۲-۲-۱ تقسیم بندی کاروتنوئیدها ۷

۱-۲-۲-۲ ساختار کاروتنوئیدها ۷

۱-۲-۲-۳ هضم و جذب کاروتنوئیدها ۹

۱-۲-۲-٤ تبدیل متابولیکی کاروتننوئیدها ۱۱

۱-۲-۲-۵ فعالیت‌های زیستی کاروتنوئیدها ۱۱

۱-۲-۲-٦ آستاگزانتین ۱۱

۱-۲-۲-۷ بتاکاروتن ۱٦

۱-۳ فرضیات ۱۸

۱-٤ اهداف ۱۸

فصل دوم: مروری بر مطالعات انجام شده

۲-۱ تحقیقات داخل کشور ۲۰

۲-۲ تحقیقات خارج از کشور ۲۱

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱ مواد و وسایل ۲٦

۳-۲ محل انجام آزمایش ۲٦

۳-۳ آکواریوم‌های پرورش ماهی ۲۷

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-٤ تهیه جیره‌های آزمایشی ۲۷
۳-۵ تهیه ماهی و سازگار نمودن ۲۸
۳-٦ آغاز دوره پرورش ۲۸
۳-۷ زیست سنجی ۲۹
۳-۸ تغذیه ماهیان ۲۹
۳-۹ کنترل عوامل فیزیکوشیمیایی آب ۲۹
۳-۱۰ نمونه برداری ۲۹
۳-۱۱ شاخص‌های مورد مطالعه ۳۰
۳-۱۱-۱ شاخص‌های رشد ۳۰
۳-۱۱-۱-۱ افزایش وزن بدن ۳۰
۳-۱۱-۱-۲ ضریب رشد ویژه ۳۰
۳-۱۱-۱-۳ ضریب تبدیل غذایی ۳۰
۳-۱۱-۲ شاخص‌های رنگی شدن ۳۱
۳-۱۱-۲-۱ روش توصیفی ۳۱
۳-۱۱-۲-۲ روش کمی. ۳۱
۳-۱۲ تجزیه آماری ۳۲

فصل چهارم: نتایج
٤-۱ شاخص‌های رشد ۳٤
٤-۲ شاخص‌های رنگی‌شدن ۳۵
٤-۲-۱ روش توصیفی ۳۵
٤-۲-۲ روش کمی ۳۹

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری

۵-۱ بحث و نتیجه‌گیری ٤٢

۵-۲ نتیجه‌گیری کلی ٤٤

۵-۳ پیشنهادهای اجرایی ٤٤

٤-۵ پیشنهادهای پژوهشی ٤٤

منابع ٤٥

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱- مواد و وسایل به‌کار رفته ۲۶
جدول ۳-۲- تیمارهای تغذیه‌ای ۲۷
جدول ٤-۱- مقایسه میانگین شاخص‌های رشد در ماهیان سیچلاید طاووسی تغذیه شده با تیمارهای آزمایشی..... ۳٤
جدول ٤-۲- میزان کاروتنوئیدکل در پوست ماهیان سیچلاید طاووسی تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی بعد از گذشت ۲ هفته..... ۳۹
جدول ٤-۳- میزان کاروتنوئیدکل در پوست ماهیان سیچلاید طاووسی تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی بعد از گذشت ٤ هفته..... ۳۹
جدول ٤-٤- میزان کاروتنوئید کل در پوست ماهیان سیچلاید طاووسی تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی بعد از گذشت ٦ هفته..... ٤۰
جدول ٤-۵- میزان کاروتنوئید کل در پوست ماهیان سیچلاید طاووسی تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی بعد از گذشت ۸ هفته..... ٤۰

فهرست شکل‌ها و رابطه‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ سیچلاید طاووسی ٤
رابطه ۳-۱ افزایش وزن بدن..... ۳۰
رابطه ۳-۲ ضریب رشد ویژه..... ۳۰
رابطه ۳-۳ ضریب تبدیل غذایی..... ۳۰
رابطه ۳-٤ کل کاروتنوئید..... ۳۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

سال‌هاست که ماهیان زیبا، رنگارنگ و کوچکی از خانواده سیچلیده وارد تجارت آکواریوم شده است. خاستگاه بیشتر این ماهیان دریاچه مالاوی آفریقاست. خانواده سیچلیده یک خانواده مهم از ماهیان زینتی است و پوست ماهیان سیچلاید دارای ترکیب رنگی گوناگون می‌باشد. یکی از گونه‌های معروف این خانواده سیچلاید طاووسی می‌باشد. یکی از مهم‌ترین جذابیت‌های موجودات دریایی تنوع رنگی آن‌هاست که از غذا و محیط زیست اطرافشان ناشی می‌شود. رنگ ماهیان عمدتا به دلیل حضور کروماتوفور بوده که محتوی رنگدانه است و بیشتر آن‌ها در لایه درمیس و به ندرت در لایه اپی درمیس یافت می‌شوند. این سلول‌ها دارای رنگدانه‌های مختلف سیاه، زرد، نارنجی و قرمز هستند و رنگ‌های دیگری که در بدن ماهیان مشاهده می‌شوند از ترکیب رنگ‌های فوق به وجود می‌آید (گاپتا[1] و همکاران، ۲۰۰۶). با توجه به اهمیت رنگ به عنوان یک عامل اساسی در بازارپسندی ماهیان زینتی، در واقع ذره‌بین روی رنگ خارجی پوست ماهیان و اثر مکمل‌های غذایی روی این فرآیند قرار داده شده است. رنگ‌ها به عنوان یک عامل مهم در زندگی همه موجودات زنده نقش عمده‌ای را ایفا می‌کنند. رنگ بدن موجودات زنده تابع دو عامل ژنتیکی و تغذیه‌ای می‌باشد (کپ و دورماز[2]، ۲۰۰۷).

انواع سلول‌های رنگی در آبزیان شامل: ملانوفورن، اگزانتوفورن، اریتروسین، لوکوسیتین، تریدوسیتن و گوانوسیتن است؛ همچنین چهار گروه اصلی مسئول ایجاد رنگ در بافت و پوست جانداران: ملانین، پورین، پریدیوم و کاروتنوئید است (سی کای[3] و همکاران، ۱۹۸۷).

کاروتنوئیدها که گروهی از رنگدانه‌های طبیعی و جزء ریز مغذی‌ها می‌باشند، یکی از منابع اصلی تأمین رنگ بدن آبزیان به‌شمار می‌روند و ضروری است که به جیره غذایی آبزیان اضافه شوند (کریستیانسن و توریژن[4]، ۱۹۹۷؛ گوئرین[5] و همکاران، ۲۰۰۳). کاروتنوئیدها به راحتی در چربی حل می‌شوند و دامنه رنگی زرد تا قرمز را در پوست ایجاد می‌کنند. تاکنون بیش از ۶۰۰ نوع کاروتنوئید در طبیعت یافت شده است اما تعداد کمی از آنها به عنوان ماده افزودنی در غذای آبزیان مورد استفاده قرار

1- Gupta
2- Kop & Durmaz
3- Seikai
4- Christiansen & Torrissen
5- Guerin

می‌گیرند (سی کای و همکاران، ۱۹۸۷). بیشتر ماهیان قادر به سنتز کاروتنوئیدها نیستند و رنگدانه‌های مورد نیاز از طریق زنجیره‌ی غذایی وارد بدن می‌شود (توریژن و کریستیانسن، ۱۹۹۵).

از آنجایی که فقط گیاهان و پروتیست‌ها (باکتری، جلبک و قارچ) قادر به ساخت کاروتنوئیدها می‌باشند، حیوانات آبزی و به خصوص ماهیان باید آنها را از طریق جیره‌ی غذایی دریافت نمایند. از این رو کاروتنوئیدها در شرایط پرورشی می‌بایست به‌صورت مکمل غذایی مورد استفاده قرار گیرند (وزنیاک[1]، ۱۹۹٦).

رنگدانه‌ها نقش مهمی در جیره غذایی حیوانات و صنعت تولید خوراک دام ایفا می‌کنند. کارکردهای کاروتنوئیدها به وسیله بسیاری از محققان بررسی شد که شامل کارکرد شبه آنتی اکسیدانی، فعالیت‌های پرووِیتامینی برای ویتامین A، تحریک دستگاه ایمنی، مهار جهش زایی و نقش حیاتی در تولید مثل می‌باشد. هم‌چنین در مراحل لاروی یا مراحل تغذیه آغازی نیز استفاده می‌شوند (افشار مازندران، ۱۳۸۱). کاروتنوئیدهای سنتزی مختلف مانند آستاگزانتین، بتاکاروتن، کانتاگزانتین و منابع طبیعی (مخمر، باکتری، جلبک و پودر سخت پوستان) برای افزایش رنگی شدن ماهی و سخت پوستان به رژیم غذایی اضافه می‌شوند (شهیدی[2] و همکاران، ۱۹۹۸؛ کالینوسکی[3] و همکاران، ۲۰۰۵). منابع طبیعی کاروتنوئیدها، اغلب حاوی ترکیبی از رنگدانه‌های مختلف می‌باشد که غلظت آنها ثابت نیست و رنگ خیلی غیر یکنواختی ایجاد می‌کنند که به نسبت کاروتنوئیدهای مختلف وابسته است. اما استفاده از کاروتنوئیدهای سنتزی به‌علت دسترسی آسان به آنها و همچنین خالص‌تر بودن رایج‌تر است (سلز و جانسنز[4]، ۲۰۰۳).

آستاگزانتین، مهمترین رنگدانه کاروتنوئیدی است که امروزه به‌صورت چشمگیری در صنعت آبزی پروری مورد استفاده قرار می‌گیرد (کریستیانسن و توریژن، ۱۹۹۷). آستاگزانتین یک ریز جزء اصلی و مهم در جیره غذایی آبزیان محسوب می‌شود که عملکردهای زیستی مهمی از جمله جلوگیری از اکسیده شدن اسیدهای چرب ضروری غیراشباع PUFA[5]، حفاظت از اثرات منفی نور ماوراءبنفش، به

1- Wozniak
2- Shahidi
3- Kalinowski
4- Sales & Janssens
5- Polyunsaturated fatty acid

عنوان پیش ساز ویتامین A، ایجاد واکنش‌های ایمنی، خاصیت رنگ‌دهی زیستی و هم‌چنین بهبود رفتارهای تولید مثلی را کنترل می‌کند (توریژن و همکاران، ۱۹۸۹؛ لورنز و سیسوسکی[1]، ۲۰۰۰).

بتاکاروتن نیز یکی از مهم‌ترین ترکیبات کاروتنوئیدی است که امروزه به‌عنوان یک رنگ طبیعی به طور وسیعی در فرآورده‌های غذایی، لوازم آرایشی و غذای دام و طیور مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه‌بر این، این ماده یک آنتی‌اکسیدان قوی بوده و به‌عنوان پیش ساز ویتامین A در انسان و حیوانات نیز به‌کار می‌رود (زاجیک[2]، ۱۹٦٤؛ کیم[3] و همکاران، ۱۹۹٦). در این تحقیق سعی بر این بوده تا تاثیر کاروتنوئیدهای سنتزی آستاگزانتین و بتاکاروتن بر فاکتورهای رشد و رنگی شدن ماهی سیچلاید طاووسی مورد بررسی قرار گیرد.

۱-۲ کلیات

۱-۲-۱ سیچلاید طاووسی و خاستگاه آن

ماهیان زینتی به دو گروه ماهیان زینتی آب شیرین و آب شور (دریایی) تقسیم می‌شوند. در مورد ماهیان آکواریومی نگهداری ماهیان آب شیرین نسبت به ماهیان آب شور تا اندازه‌ای آسان‌تر است زیرا شرایط لازم جهت ماهیان آب شور بسیار حساس‌تر است (عمادی، ۱۳٦۱).

شکل ۱-۱- سیچلاید طاووسی

خانواده سیچلیده، یک خانواده مهم از ماهیان زینتی و از ماهیان عمومی و مورد پسند آکواریوم‌داران است و یکی از گونه‌های معروف آن سیچلاید طاووسی با نام علمی *Aulonocara baenschi* می‌باشد.

1- Lorenz & Cysewski
2- Zajik
3- Kim

خانواده سیکلیده از رده ماهیان استخوانی *Osteichtyes*، زیر رده *Actinopterygii* و راسته سوف ماهیان *Perciformes* می‌باشد. خانواده سیکلیده به‌عنوان یک نمونه برجسته از تکامل مهره‌داران است (شیخیان، ۱۳۸۳). و از آن‌جا که در شرایط اسارت به راحتی به تولید مثل می‌پردازند، ترجیحا استفاده از آن‌ها افزایش می‌یابد. بر اساس بعضی از برآوردها ۲۰۰۰ گونه و تقریبا ۱٤۰ جنس در این خانواده وجود داشته که بعد از خانواده کپورماهیان و گاوماهیان احتمالا سومین خانواده بزرگ ماهیان استخوانی است (بهمنی، ۱۳۸۱). سیچلایدها عمدتا در دریاچه‌های بزرگ شرق آفریقا مانند دریاچه مالاوی، ویکتوریا و تانگانیکا یافت شده و وجود ۸۰۰ تا ۲۰۰۰ گونه در آن‌جا تخمین زده می‌شود. یکی از جذابیت‌های این خانواده در این است که آن‌ها یاد می‌گیرند که صاحبانشان را تشخیص دهند و کاملا اهلی شوند (بهمنی، ۱۳۸۱).

بیشتر سیچلیدهای آفریقایی موجود در بازار ایران از جنس سیچلیدهای دریاچه مالاوی است. اصولا سیچلیدهای مالاویایی را کسانی نگه‌داری می‌کنند که به رنگ‌های باز و گرم و هم‌چنین حرکت‌های سریع این گونه از ماهیان و عادات رفتاریشان و به‌وجود آوردن رنگین کمان زنده در محیط آکواریوم علاقه‌مند می‌باشند.

دریاچه مالاوی یا نیاسا نهمین دریاچه بزرگ دنیا می‌باشد و در جنوب شرقی آفریقا قرار گرفته و سه کشور در پیرامون آن قرار گرفته‌اند. بیشتر این دریاچه که شامل کرانه غربی و جنوبی آن است به مالاوی تعلق دارد. شمال شرقی دریاچه مالاوی متعلق به تانزانیا بوده و بخش شرقی آن موزامبیک است. دریاچه مالاوی بر اثر حرکات تکتونیکی و زمین‌شناختی به‌وجود آمده است. این دریاچه زیبا بیشتر به‌خاطر حضور سیچلیدهای زیبای خود در بین آکواریوم‌داران معروف می‌باشد. دریاچه مالاوی، ٥٦۰ کیلومتر طول و ۷۵ کیلومتر عرض دارد و عمق متوسط آن ۲۹۲ متر و بیشترین عمق آن ۷۰٦ متر گزارش شده است (ارجینی، ۱۳۸٤). از لحاظ اقتصادی دریاچه مالاوی برای افراد پیرامونش با ارزش است. شاید مهم‌ترین محصول صادراتی مالاوی، سیچلیدهای مالاوی باشد. تنوع زیستی این دریاچه بیش از هر دریاچه دیگری روی کره‌ی زمین است. جمعیت غالب ماهیان دریاچه مالاوی را سیچلیدها تشکیل می‌دهند. بیشتر سیچلیدهای این دریاچه بومی آن بوده و به‌طور طبیعی در سایر مناطق جهان وجود نداشته‌اند. بنابراین می‌توان دریاچه مالاوی را بزرگ‌ترین، زیباترین و رنگارنگ‌ترین آکواریوم آب شیرین جهان دانست. در دریاچه مالاوی سه نوع بستر به چشم می‌خورد. بخشی از این دریاچه قلوه‌سنگی بوده و زیستگاه اصلی سیچلیدهاست. بخش دیگر آن پوشیده از ماسه است و بخش سوم که

در اصل در دهانه ورود رودخانه‌ها به این دریاچه وجود دارد دارای موقعیت گلی و دارای بقایای گیاهان است. دمای آب این دریاچه در بیشتر زمان‌ها بین ۲۳ تا ۲۸ درجه در نوسان است. pH دریاچه بین ۷/۷ تا ۸/٦ می‌باشد و آب دریاچه مالاوی نسبتا سخت است (ارجینی، ١٣٨٤).

۱-۲-۲ کاروتنوئیدها

کلمه رنگدانه از واژه لاتین Pigmentum که اشاره به وسایل و مواد نقاشی، آرایشی و تزئینی دارد، مشتق شده و در ضمن تصوری از رنگ را نیز ایجاد می‌کند (شهیدی و همکاران، ۱۹۹۸).

در علم زیست‌شناسی هر ماده‌ای که بتواند رنگ را به بافت‌ها و سلول‌های زنده گیاهی و جانوری القا نماید و باعث تغییر رنگ در آن‌ها شود، رنگدانه نامیده می‌شود. یک خانواده بزرگ از رنگدانه‌های طبیعی، کاروتنوئیدها می‌باشد. نام کاروتنوئید از نام علمی هویج *Daucus carota* مشتق شده که حاوی رنگدانه کاروتنوئیدی کاروتن می‌باشد. این کاروتنوئید اولین بار توسط وکنرودر در سال ۱۸۳۱ استخراج و شناسایی شد. کاروتنوئیدها، رنگدانه‌های زیستی محلول در چربی هستند و دارای دامنه رنگی وسیعی از زرد تا قرمز می‌باشند که در بسیاری از بافت‌های گیاهی تولید شده و می‌توانند توسط جانوران متابولیسم و ذخیره شوند. این مواد در هر دو سلسله گیاهی و جانوری دارای پراکنش وسیعی می‌باشند و در تمامی اعضاء زنده یافت می‌شوند. رنگدانه‌های زیستی فوق مسئول رنگ بسیاری از میوه‌ها، سبزیجات، گل‌ها، بسیاری از پرندگان، حشرات، قارچ‌ها و جانوران آبزی می‌باشند و از دهه ۱۹۵۰ مورد توجه دانشمندان قرار گرفته‌اند. تا امروز بالغ بر ٦۰۰ نوع کاروتنوئید طبیعی مختلف استخراج و شناسایی شده است (چوبرت[1]، ۲۰۰۱). در واقع انواع دقیق ترکیبات کاروتنوئیدی به‌دلیل ساختارهای مختلف ایزومری آن‌ها بسیار بیشتر از ٦۰۰ نوع می‌باشند که هنوز به‌صورت جداگانه لیست نشده‌اند. اگرچه کاروتنوئیدها اغلب در غلظت‌های پایین موجود می‌باشند، ولی تولید کل آن‌ها در طبیعت بسیار زیاد و بالغ بر یکصد میلیون تن در سال تخمین زده شده است. کاروتنوئیدها به طور عمده از طریق چرخه فتوسنتز ساخته و به طور متوالی در برگ‌ها، جلبک‌ها و زئوپلانکتون‌ها ذخیره می‌شوند (کریستیانسن و توریژن، ۱۹۹۷).

1- Choubert

۱-۲-۲-۱ تقسیم‌بندی کاروتنوئیدها

کاروتنوئیدها به دو گروه کاروتن‌ها و گزانتوفیل‌ها تقسیم می‌گردند. کاروتن‌ها هیدروکربن‌هایی هستند که در ساختمان آن‌ها تنها هیدروژن و کربن وجود دارد و از آن جمله می‌توان از آلفاکاروتن و بتاکاروتن نام برد. گزانتوفیل‌ها، مشتق اکسیژن‌دار کاروتن‌ها می‌باشند که از مولکول‌های کربن، هیدروژن و اکسیژن تشکیل شده‌اند (کریستیانسن و توریژن، ۱۹۹۷؛ دورینگ و هاریزون[1]، ۲۰۰٤). در دومین گروه اکسیژن می‌تواند به صورت گروه‌های OH (مثل زگزانتین) یا به‌عنوان گروه‌های اکسیژنی (مثل کانتاگزانتین) و یا ترکیبی از هر دو (مثل آستاگزانتین) باشد (سپارا[2] و همکاران، ۲۰۰٦).

۱-۲-۲-۲ ساختار کاروتنوئیدها

همه کاروتنوئیدها از ساختار خطی پایه Polysoprenoid نشأت گرفته‌اند که شامل ٤۰ اتم کربن و ۱۳ پیوند دوگانه می‌باشد. کاروتنوئیدها از این ساختار والد به‌واسطه Cyclization زنجیره Polyene (مثل تشکیل زنجیره هیدروکربنی حلقوی β-ionone و یا ε-ionone) یا یک (مثل γ-carotene) و یا دو پایانه (مثل α-caroten -β-carotene) و یا به‌وسیله فرآیند دهیدروژناز و یا اکسیداسیون سرچشمه گرفته‌اند (دورینگ و هاریزون، ۲۰۰٤).

یک مولکول شاخص کاروتنوئیدی از دو زنجیره هیدروکربنی حلقوی به نام β-Ionone تشکیل می‌شود که این حلقه‌ها توسط زنجیره هیدروکربنی با پیوندهای متناوب دوگانه و منفرد به یکدیگر متصل می‌شوند. نام دیگر این زنجیره‌های بلند و به هم پیوسته از باندهای دوگانه که مسئول فراهم کردن خصوصیات آنتی‌اکسیدانی و رنگدانه‌ای کاروتنوئیدها می‌باشند، کروماتوفور می‌باشد.

کروماتوفورها فوتون‌های موجود در اشعه ماوراءبنفش (٤۰۰nm-۱۸۰) نور مرئی (٦۰۰nm-٤۰۰) طیف خورشیدی را بر اساس تعداد باندهای دوگانه متصل به‌هم، به‌صورت انتخابی جذب می‌نمایند. بر اساس همین امر طیف جذبی یک ترکیب با تعداد کم باند دوگانه متصل به‌هم محدود به ناحیه ماوراءبنفش می‌شود و این در حالی است که طول موج جذبی کاروتنوئیدهایی با پنج پیوند دوگانه متصل به‌هم، به منطقه نور مرئی طیف خورشیدی منتقل می‌شود. طیف جذبی کاروتنوئیدها با یکدیگر تفاوت دارد و وابسته به محیطی می‌باشد که کاروتنوئیدها یافت می‌شوند. نمونه بارز این مورد در مورد

1- During & Harrison
2- Ciapara

حلال‌های آلی موجود می‌باشد. علاوه‌بر این سیستم کروماتوفوری می‌تواند تحت تأثیر باندهای دوگانه اضافی و نیز گروه‌های عملکردی دیگر قرار گیرد، چرا که در حالت طبیعی طیف‌های جذبی توسط اثر متقابل بین کاروتنوئیدها، چربی‌ها و پروتئین‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرند (داویس[1] و همکاران، ۱۹۶۱؛ لتسچا[2]، ۱۹۹۰). با وجود این‌که کاروتنوئیدها دارای باندهای دوگانه متعدد به‌هم‌پیوسته و گروه‌های حلقوی انتهایی می‌باشند ولی چرخش‌های آزاد کمی در منطقه پیوندهای کربن به کربن مشخص ساختار مولکولی خود دارند. این امر به‌دلیل وجود اتم‌های کربن نامتقارن (chiral) متعددی می‌باشد که باعث ایجاد نحوه قرارگیری متفاوت اجزا و ایجاد ایزومرهای مختلف که هر کدام دارای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوت می‌باشد، می‌شود.

ایزومرهای نوری و هندسی دو فرم مهم و فراوان کاروتنوئیدها می‌باشد که در اثر پدیده معمول ایزومره شدن در دنیای کاروتنوئیدها به خصوص موقعی که کاروتنوئیدها در برابر گرما و نور قرار می‌گیرند، به وجود می‌آیند. هر پیوند دوگانه از زنجیره Polyene ممکن است که در دو شکل موجود باشد: ایزومرهای Cis یا Trans. در طبیعت ایزومرهای all-E (در ابتدا all-Trans) فراوان‌ترین هستند. از نظر ترمودینامیکی، ایزومرهای Cis پایداری کمتری نسبت به ایزومرهای Trans دارند (بریتون[3]، ۱۹۹۵).

کاروتنوئیدها مولکول‌هایی آب‌گریز هستند، بنابراین در قسمت‌های چربی‌دوست سلول‌ها مثل غشاهای دولایه‌ای قرار می‌گیرند. با افزایش تعداد ساختارهای دوقطبی (به خصوص گروه‌های هیدروکسیل آزاد یا استری شده) از خاصیت آب‌گریزی آن‌ها کاسته می‌شود و بر نحوه قرار گرفتن مولکول‌های کاروتنوئیدی در غشاهای بیولوژیکی اثر می‌گذارد. مثلا دی‌هیدروکسی کاروتنوئیدها (مثل لوتئین و زگزانتین) عمود بر سطح غشاء قرار می‌گیرند، به این دلیل که گروه‌های هیدروکسیل آن‌ها در یک محیط قطبی‌تر قرار می‌گیرند، بر خلاف کاروتن‌ها (مثل بتاکاروتن و لیکوپن) که می‌توانند هم‌تراز با سطح غشاء قرار گیرند تا در یک محیط چربی دوست‌تر در قسمت داخلی غشاء در لایه‌ای باقی بمانند. بنابراین مولکول‌های کاروتنوئیدی می‌توانند آثار مهمی بر ضخامت، طول و سیالیت غشاها داشته باشند و از این طریق بر بسیاری از عملکردهای آن‌ها اثر بگذارند (دورینگ و هاریزون، ۲۰۰٤).

1- Davis
2- Letscha
3- Britton

تعداد پیوندهای دوگانه متصل به‌هم در کاروتنوئیدهای ماهی معمولا ۱۱ تاست. تعداد زیاد پیوندهای دوگانه در این ترکیبات باعث ناپایداری آن‌ها می‌شود، به‌راحتی تخریب می‌شوند و در دماهای بالا و یا شدت نور بی‌رنگ می‌شوند (چوبرت، ۲۰۰۱). غالب‌ترین کاروتنوئیدهای موجود در بدن انسان بتاکاروتن، آلفاکاروتن، لیکوپن و بتاکریپتوگزانتین می‌باشند (دورینگ و هاریزون، ۲۰۰٤).

۱-۲-۲-۳ هضم و جذب کاروتنوئیدها

یکی از مهم‌ترین ملاک کیفیت ارزش بازاری ماهیان زینتی، رنگ آن‌ها می‌باشد (وانگ[1] و همکاران، ۲۰۰٦). رنگ‌ها به‌واسطه ذخیره کاروتنوئیدهایی مثل آستازانتین و کانتارانتین ایجاد می‌شوند. رنگدانه‌ها باید به جیره اضافه شوند، چون ماهیان مانند سایر حیوانات قادر به سنتز رنگدانه نیستند. با این وجود کاروتنوئیدها به‌طور ضعیفی به وسیله ماهی مورد استفاده قرار می‌گیرند (بجرکنگ و برگ[2]، ۲۰۰۰). یکی از دلایل این امر، جذب ضعیف کاروتنوئیدها در روده می‌باشد. وضعیت جیره غذایی و دمای آب بر قابلیت هضم کاروتنوئیدها اثر می‌گذارند (توریژن، ۱۹۸۵؛ چوبرت و همکاران، ۱۹۹۱؛ ترستیل[3] و همکاران، ۲۰۰۵). ممکن است میزان جیره بر قابلیت هضم اثر بگذارد. هم‌چنین اعتقاد بر این است که جذب در روده با مکانیسم انتشار غیرفعال صورت می‌گیرد که شامل چندین مرحله شکستن ترکیبات پیچیده غذا، قابلیت انحلال کاروتنوئیدها درون نمک‌های صفراوی، حرکت از میان لایه آبی غیرقابل حل در مجاور میکروویلی، جذب به وسیله انتروسیت و هم‌چنین شیلومیکرون‌ها می‌باشد (فور و کلارک[4]، ۱۹۹۷).

قسمت جلویی روده، مکان اصلی جذب کاروتنوئیدها می‌باشد (وایت[5] و همکاران، ۲۰۰۲). غلظت کاروتنوئید پلاسما به‌عنوان یک شاخص خوب در مقدار کاروتنوئید در دسترس، برای رنگدهی پوست آزادماهیان مورد توجه قرار گرفته است. زیرا هم با غلظت کاروتنوئیدهای جیره و هم ذخیره‌سازی آن‌ها در ماهیچه در ارتباط است (استورباکن و گوسوامی[6]، ۱۹۹٦). یک غذا با اندازه درشت‌تر سریع‌تر از غذای کوچک‌تر دفع می‌شود، به‌همین دلیل زمان ماندگاری در روده در اولی کاهش یافته است و

1- Wang
2- Bjerkeng & Berge
3- Ytrestyl
4- Furr & Clark
5- White
6- Storebakken & Goswami