وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه آموزش و ترویج کشاورزی

معاونت علمی و فناوری

شبکه دانش کشاورزی

سلسله برنامه‌های ویدیو کنفرانس انتقال دانش به روز در گستره ملی بخش کشاورزی

عنوان:

اثرات فیزیولوژیک کاروتنوئیدهای آستازانتین و بتاکاروتن بر فعالیت‌های تولید مثلی و رشد ماهی

سخنران:

بابک تیزکار

عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی گیلان

۱۱ آذر ۱۴۰۴- ساعت: ۱۰

بسم الله الرحمن الرحيم

نقش‌های فیزیولوژیک کاروتنوئیدها در آبزیان

الف) رنگ‌دانه‌سازی (Pigmentation): مکانیسم جذب، توزیع و رسوب

رنگ‌دانه‌سازی در آبزیان، فرآیندی است که در آن کاروتنوئیدهای خوراکی (معمولاً آستاگزانتین، کانتاگزانتین، و لوتئین) در بافت‌های خاصی مانند پوست، ماهیچه و اندام‌ها رسوب کرده و رنگ مشخصی به محصول نهایی می‌بخشند.

۱. جذب روده‌ای و چالش‌های لیپوفیلی

از آنجا که کاروتنوئیدها کاملاً **لیپوفیل (چربی‌دوست)** هستند، جذب آن‌ها از طریق روده آبزیان (که اغلب دارای محیط آبی هستند) نیازمند سازوکارهای خاصی است:

- **میعلاسازی (Emulsification):** در محیط معدی-روده‌ای، لیپازها و نمک‌های صفراوی (در صورت ترشح کافی) به لیپیدهای موجود در خوراک کمک می‌کنند تا کاروتنوئیدها را به میسل‌های کوچک درآورده و قابلیت جذب از طریق سلول‌های روده (Enterocytes) را فراهم سازند.
- **نیاز به لیپیدهای کمکی:** جذب بهینه مستلزم حضور مقادیر کافی چربی‌های ضروری (مانند اسیدهای چرب امگا-۳) در جیره است که به عنوان حامل برای جذب و انتقال کاروتنوئیدها عمل می‌کنند.

۲. انتقال و توزیع (Transportation and Distribution)

پس از جذب، کاروتنوئیدها باید از طریق جریان خون به بافت‌های هدف منتقل شوند:

- **لیپوپروتئین‌ها:** کاروتنوئیدهای جذب‌شده وارد سیستم لنفاوی یا خونی شده و توسط **لیپوپروتئین‌ها** (مانند VLDL و LDL در ماهی‌ها) به کبد (به عنوان مرکز متابولیسم) و سپس به بافت‌های محیطی حمل می‌شوند.
- **ذخیره‌سازی در بافت هدف:** در آبزیانی که نیاز به رنگ‌گیری گوشت دارند (مانند سالمونیدها)، آستاگزانتین به طور انتخابی توسط **کروماتوفورها** یا مستقیماً در ماهیچه به عنوان **کروماپروئین** ذخیره می‌شود.

۳. تمایز کاروتنوئیدها و رسوب اختصاصی

انتخاب کاروتنوئید در جیره تعیین‌کننده نهایی رنگ است:

- **آستاگزانتین (Astaxanthin):** فرم آستاگزانتین طبیعی (از جلبک *Haematococcus pluvialis*) یا سنتتیک، به دلیل ساختار خاص خود، بالاترین تمایل را برای رسوب در بافت ماهیچه‌ای دارد و رنگ قرمز/صورتی عمیقی ایجاد می‌کند.
- **کانتاگزانتین (Canthaxanthin):** معمولاً در بافت‌های خارجی‌تر مانند پوست و چشم رسوب می‌کند و رنگ نارنجی متمایل به قرمز ایجاد می‌کند. کارایی آن در رنگ‌گیری گوشت ماهیچه‌ای معمولاً کمتر از آستاگزانتین است.
- **کاروتنوئیدهای پیش‌ساز (Pro-Vitamin A):** کاروتنوئیدهایی مانند β-کاروتن در آبزیان یا به سختی به آستاگزانتین تبدیل می‌شوند یا نقش رنگ‌دهی مستقیمی ندارند و بیشتر به عنوان منابع ویتامین A عمل می‌کنند.

۴. اتصال به پروتئین و پایداری (Protein Binding and Stability)

رنگ نهایی و پایداری آن در گوشت به نحوه اتصال کاروتنوئید به ماکرومولکول‌های پروتئینی بستگی دارد:

- **کروماپروئین‌ها:** کاروتنوئیدها اغلب با پروتئین‌های ماهیچه‌ای (مانند میوگلوبین یا پروتئین‌های خاص بافت چربی) پیوند می‌یابند. نوع این اتصال (کووالانسی یا غیرکووالانسی) و محیط شیمیایی اطراف آن، بر **طیف جذب نوری** و در نتیجه بر رنگ ظاهری تأثیر می‌گذارد. این پیوند به محافظت از مولکول کاروتنوئید در برابر اکسیداسیون در طول فرآیند ذخیره‌سازی و فرآوری کمک می‌کند.

ب) تقویت سیستم ایمنی (Immune System Enhancement)

کاروتنوئیدها از طریق **کنترل استرس اکسیداتیو، تنظیم بیان ژن‌های ایمنی و افزایش پایداری غشایی**، نقشی کلیدی در سلامت عمومی و پاسخ دفاعی آبزیان ایفا می‌کنند. در این بخش، این اثرات را در سه سطح فیزیولوژیکی بررسی می‌کنیم: (۱) تنظیم رادیکال‌های آزاد، (۲) تعدیل مولکولی ایمنی (۳) حمایت از ساختار سلولی.

۱. کنترل استرس اکسیداتیو و نقش آنتی‌اکسیدانی

سیستم ایمنی فعال، به‌ویژه هنگام عفونت، به طور طبیعی موجب تولید **رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS)** می‌شود. در مقادیر کنترل‌شده، این مولکول‌ها به نابودی پاتوژن‌ها کمک می‌کنند، ولی تجمع بیش از حد آن‌ها می‌تواند به **آسیب غشای سلول‌های ایمنی و کاهش کارایی سیستم دفاعی** منجر شود.

•کاروتنوئیدها ـــ به‌ویژه **آستاگزانتین و لوتئین** ـــ به دلیل دارا بودن زنجیره مزدوج C=C و آرایش الکترونی ویژه، قابلیت جذب انرژی اضافی از ROS (مانند $^{1}O_2$ و O_2^-) را دارند.

•آستاگزانتین حتی نسبت به ویتامین E کارایی بالاتری در خاموش‌کردن اکسیژن منفرد (Singlet Oxygen) نشان داده است.

•نتیجه این فرآیند، کاهش پراکسیداسیون چربی‌ها (Lipid Peroxidation) در غشاهای سلولی و به‌ویژه در سلول‌های لکوسیتی و ماکروفاژهای ماهی است.

به بیان ساده، کاروتنوئیدها مانند **"فایروال زیستی"** از فرسایش سلولی ناشی از استرس اکسیداتیو جلوگیری می‌کنند.

وقتی در زیست‌شناسی می‌گوییم «کاروتنوئیدها مانند فایروال زیستی عمل می‌کنند»، منظورمان این است که:
این ترکیبات در سطح سلولی مانند "دیوار حفاظتی" از غشاها و مولکول‌های حیاتی در برابر تخریب یا حمله‌ی عوامل مضر (مانند رادیکال‌های آزاد و اکسیدان‌ها) حفاظت می‌کنند.
به زبان علمی‌تر:

- کاروتنوئیدها در **غشاء سلول‌ها، میتوکندری‌ها و بافت‌های حساس** جای می‌گیرند.
- وقتی مولکول‌های فعال اکسیژن (ROS) تولید شوند ـــ که شبیه «تهاجم» به سلول است ـــ کاروتنوئیدها انرژی آن‌ها را جذب کرده یا آن‌ها را خنثی می‌کنند.
- این واکنش باعث می‌شود **آسیب به DNA، پروتئین‌ها و لیپیدهای غشا مهار شود.**

رادیکال‌های آزاد مثل شراره‌هایی هستند که ممکن است دیوار خانه را بسوزانند،
و کاروتنوئیدها همان **رنگ نسوز دیوار** هستند که جلوی گسترش آتش را می‌گیرند.

۲. تعدیل پاسخ‌های ایمنی ذاتی و اکتسابی

بیش از نقش آنتی‌اکسیدانی، کاروتنوئیدها بر **بیان ژن‌ها و عملکرد سلول‌های ایمنی** نیز اثرگذارند:

الف) ایمنی ذاتی (Innate Immunity):

•در گونه‌هایی مانند *Oncorhynchus mykiss* (قزل‌آلا)، مکمل‌سازی با آستاگزانتین موجب **افزایش فعالیت لیزوزیمی، فاگوسیتوز و اکسیژن‌رهای تنفسی (Respiratory Burst)** در گرانولوسیت‌ها شده است.

•افزایش تراکم **سلول‌های نوتروفیل و ماکروفاژ فعال** در ماهی‌های تغذیه‌شده با کاروتنوئید، بیانگر تحریک مستقیم مکانیسم دفاع اولیه است.

ب) ایمنی اکتسابی (Adaptive Immunity):

•کاروتنوئیدها با تقویت **پرولیفراسیون لنفوسیت‌های T و B**، و افزایش بیان **ژن‌های سایتوکینی IL-β۱، IL-۸ و TNF-α**، نقش تنظیمی دوگانه دارند.

•در شرایط بیماری، پاسخ‌های التهابی را تحریک می‌کنند.

•در شرایط پایدار، واکنش‌های بیش‌التهابی را تعدیل و بازدارندگی می‌نمایند.

•این تعادل (سایتوکینیک بالانس) یکی از دلایل اصلی مقاومت بالاتر ماهیان مکمل‌یافته در برابر ویروس‌ها و باکتری‌ها (مثلاً *Vibrio anguillarum*، *Aeromonas hydrophila*) است.

پرولیفراسیون (Proliferation) چیست؟

پرولیفراسیون در زیست‌شناسی به معنای **تکثیر یا افزایش تعداد سلول‌ها از طریق تقسیم سلولی** است.

•**معادل ساده:** همانندسازی یا زیاد شدن سلول‌ها.

•**مکانیسم اصلی:** میتوز (Mitosis).

•**اهمیت:** وقتی بدن با یک مهاجم (پاتوژن) مواجه می‌شود، سیستم ایمنی باید تعداد سربازان خاصی که می‌توانند آن مهاجم را شناسایی و نابود کنند، به سرعت افزایش دهد. این افزایش سریع، همان پرولیفراسیون است.

۳. پایداری غشایی و محافظت از عملکرد سلولی

غشای سلول‌های ایمنی سرشار از اسیدهای چرب غیراشباع است که به‌ویژه در ماهیان سردآبی به اکسیداسیون حساس‌اند. از آنجا که کاروتنوئیدها در این لایه لیپیدی غیرقطبی مستقر می‌شوند، **چند اثر ساختاری** مهم دارند:

1. **افزایش چگالی غشایی و ثبات ساختاری:** با تقویت پیوندهای واندروالسی در زنجیره لیپیدی.
2. **افزایش انعطاف غشا در هنگام پاسخ ایمنی:** به‌ویژه در فرایند فاگوسیتوز یا ترشح گرانول‌ها.
3. **کاهش نفوذپذیری نسبت به اکسیدانت‌ها و سموم:** که موجب افزایش طول عمر سلول‌های ایمنی می‌شود.

سایتوکین‌ها (Cytokines)

سایتوکین‌ها پروتئین‌های کوچک محلولی هستند که به عنوان **پیام‌رسان‌های شیمیایی** بین سلول‌ها عمل می‌کنند. آن‌ها دستورالعمل‌های دقیقی را برای تنظیم پاسخ‌های ایمنی، التهاب، تمایز سلولی و رشد صادر می‌کنند.

افزایش **"بیان ژن"** به این معنی است که کد دستوری ساخت این پروتئین‌ها در هسته سلول، بیشتر خوانده و به پروتئین تبدیل می‌شود.

نتیجه کاربردی در پرورش

در مطالعات تغذیه‌ای متعدد، افزودن ۵۰–۱۰۰ میلی‌گرم آستاگزانتین در هر کیلوگرم خوراک باعث:

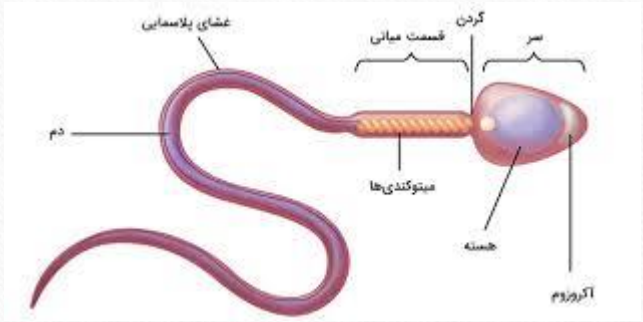
- کاهش قابل توجه **مرگ‌ومیر ناشی از استرس تراکم یا تغییرات دمایی**،
- افزایش **بازماندگی پس از مواجهه با عوامل پاتوژنیک**،
- و در نهایت، بهبود **شاخص سلامت عمومی** (**Overall Well-being Index**) در سیستم‌های پرورش صنعتی شده است.

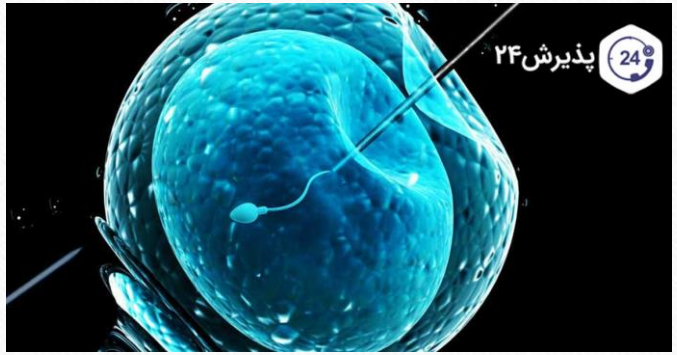
جمع‌بندی بخش ایمنی:

کاروتنوئیدها تنها آنتی‌اکسیدان نیستند؛ آن‌ها **مدولاتورهای فعال شبکه ایمنی**‌اند که هم از طریق کنترل رادیکال‌ها، هم از راه تحریک سلول‌های دفاعی، و هم از جهت حفظ سلامت ساختار غشایی، به پایداری سیستم ایمنی آبزیان کمک می‌کنند.

بخش ۳: اثرات کاروتنوئیدها بر سیستم تولید مثل (Reproductive System)

کاروتنوئیدها نقش حیاتی در تنظیم عملکرد غدد جنسی (گنادها) و افزایش موفقیت تکثیر آبزیان ایفا می‌کنند. این اثرات از طریق بهبود کیفیت تخمک و اسپرم و همچنین تنظیم هورمونی رخ می‌دهد.





الف) بهبود کیفیت گامت‌ها (Gamete Quality)

کیفیت سلول‌های جنسی (تخمک و اسپرم) مستقیماً با سطح آنتی‌اکسیدان‌های موجود در آن‌ها تعیین می‌شود.

1.محافظت از تخمک (Oocyte Protection):

•تخمک‌ها در معرض استرس اکسیداتیو شدیدی در طول مراحل نهایی رشد قرار دارند. کاروتنوئیدهایی مانند **آستاگزانتین** و **کانتاگزانتین** که در غشای سلولی و میتوکندری ذخیره می‌شوند، به عنوان **"مخازن آنتی‌اکسیدانی"** عمل می‌کنند.

•این محافظت، از پراکسیداسیون لیپیدی غشاهای میتوکندری جلوگیری کرده و در نتیجه **افزایش کیفیت و قدرت زنده‌مانی تخمک** (Oocyte Viability) را تضمین می‌کند.

2.افزایش کیفیت اسپرم (Sperm Quality):

•موبایل بودن (تحرک) و مورفولوژی (شکل) اسپرم به شدت به سلامت غشای پلاسمایی و توانایی تولید انرژی (ATP) وابسته است.

•تزریق کاروتنوئیدها به رژیم غذایی منجر به **افزایش تحرک اسپرم (Motility)** و **کاهش ناهنجاری‌های مورفولوژیک** شده است که مستقیماً بر نرخ لقاح (Fertilization Rate) تأثیر مثبت می‌گذارد.

ب) تعدیل محور هورمونی تولید مثل ((HPT Axis Modulation
کاروتنوئیدها از طریق تأثیر بر سیگنالینگ هورمونی، بلوغ و تخم‌ریزی را تنظیم می‌کنند:
1.**افزایش هورمون‌های جنسی:** مطالعات نشان داده‌اند که مکمل‌سازی با کاروتنوئیدها می‌تواند باعث **افزایش سطح سرمی استروژن (در ماده‌ها)** و **تستوسترون (در نرها)** شود.
2.**تنظیم هورمون‌های محرک غدد جنسی:** کاروتنوئیدها با تعدیل سیگنالینگ از هیپوتالاموس و هیپوفیز، باعث **افزایش ترشح هورمون رهاکننده گنادوتروپین ((GnRHو هورمون لوتئینه‌کننده ((LH**می‌شوند. این هورمون‌ها مستقیماً باعث تحریک رشد غدد جنسی ((Gonad Growthو القای تخم‌ریزی ((Spawning Inductionمی‌گردند.

ج) نتایج کاربردی در پرورش
•**بهبود نسبت جنسی:** در برخی گونه‌ها، استفاده از کاروتنوئیدها می‌تواند به کنترل نسبت جنسی در جمعیت کمک کند.
•**کاهش زمان تا بلوغ:** دوره تولید مثلی ((Maturation Periodدر ماهیانی که کاروتنوئید کافی دریافت کرده‌اند، کوتاه‌تر گزارش شده است.

جمع‌بندی بخش ۳
تأثیر کاروتنوئیدها بر تولید مثل، یک اثر چندگانه است: **محافظت آنتی‌اکسیدانی مستقیم از گامت‌ها** و **تنظیم دقیق سیگنال‌های هورمونی** برای رسیدن به بلوغ و لقاح مؤثر.

بخش ۴: اثرات کاروتنوئیدها بر رشد و متابولیسم Growth and Metabolism

الف) بهبود کارایی تبدیل خوراک (FCR) و نرخ رشد

1.بهینه‌سازی جذب انرژی:

•کاروتنوئیدها، به ویژه آستاگزانتین، می‌توانند با بهبود عملکرد غشای سلول‌های روده‌ای، جذب لیپیدها و سایر مواد مغذی ضروری را افزایش دهند. این بهبود در جذب به معنای استفاده مؤثرتر از انرژی خوراک برای **رشد بافتی** به جای هدر رفتن انرژی برای مقابله با استرس یا التهاب است.

•در نتیجه، این امر به طور مستقیم منجر به **بهبود FCR** (نیاز به خوراک کمتر برای تولید واحد وزن) می‌شود.

2.تأثیر بر متابولیسم لیپیدی:

•کاروتنوئیدها می‌توانند در تنظیم ژن‌های مسئول لیپوژنز (ساخت چربی) و لیپولیز (تجزیه چربی) نقش داشته باشند. در برخی گونه‌ها، این تنظیم منجر به **کاهش ذخایر چربی احشایی (Visceral Fat)** و هدایت بیشتر انرژی به سمت **رشد عضلانی (Muscle Growth)** می‌گردد. این امر برای ماهیان پرورشی از نظر کیفیت گوشت (کاهش چربی و افزایش پروتئین) بسیار مطلوب است.

ب) تعامل با هورمون‌های رشد

همانطور که در بخش تولید مثل به محور هورمونی اشاره شد، کاروتنوئیدها بر هورمون‌های مرتبط با رشد نیز اثر می‌گذارند:

1.هورمون رشد (GH) و IGF-۱: شواهد نشان می‌دهد که مکمل‌سازی با کاروتنوئیدها می‌تواند بیان ژن و سطح سرمی هورمون رشد (GH) و فاکتور رشد شبه‌انسولین نوع ۱ (IGF−1) را در بافت کبد و ماهیچه افزایش دهد. این دو هورمون، محرک‌های اصلی آنابولیک (سازنده) در بدن آبزیان هستند که رشد استخوان و بافت نرم را هدایت می‌کنند.

2.تعدیل قند خون: برخی کاروتنوئیدها می‌توانند حساسیت به انسولین را بهبود بخشند یا مسیرهای متابولیسم گلوکز را به گونه‌ای تنظیم کنند که ذخایر انرژی به طور بهینه برای ساخت بافت به کار رود.

ج) کاهش استرس متابولیکی ناشی از آنتی‌اکسیدان‌ها

•در محیط‌های پرورشی پرفشار (مانند تراکم بالا یا دمای نامناسب)، استرس اکسیداتیو، بخش بزرگی از انرژی متابولیک ماهی را صرف خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد می‌کند.

•با تأمین کاروتنوئیدها به عنوان خط دفاعی اول (فایروال زیستی)، میزان انرژی آزاد شده از این نبرد متابولیک، مستقیماً صرف **رشد مفید** می‌شود.

خلاصه بخش ۴

کاروتنوئیدها با افزایش **کارایی جذب مواد مغذی** و **تعدیل مثبت هورمون‌های آنابولیک (IGF-۱/GH)**، رشد را تحریک کرده و منجر به بهبود قابل توجه در **نسبت تبدیل خوراک** و **افزایش توده عضلانی** در آبزیان پرورشی می‌شوند.

رویکرد علمی دقیق‌تر این است که بگوییم **کاروتنوئیدها، به‌ویژه آستاگزانتین، در دوزهای بهینه می‌توانند به طور غیرمستقیم یا مستقیم از طریق کاهش استرس اکسیداتیو (که انرژی را هدر می‌دهد) و اثر بر مسیرهای هورمونی، را بهبود بخشند.** این یافته‌ها در بسیاری از گونه‌های مهم (FCR**و کارایی خوراک** ((WG, *SGR*)**عملکرد رشد** (پرورش ماهی مستند شده است.

بخش ۵: رنگ‌پذیری Pigmentation در ارتباط با کیفیت بازار

بسیاری از مصرف‌کنندگان، رنگ گوشت ماهی (مانند صورتی در سالمون یا زرد در قزل‌آلا) را نشانه‌ای از کیفیت و ارزش غذایی در نظر می‌گیرند.

چرا کاروتنوئیدها برای رنگ ماهی ضروری هستند؟

1. **رسوب در بافت:** ماهی‌ها خودشان قادر به تولید کاروتنوئیدها نیستند. آن‌ها باید این ترکیبات را از طریق رژیم غذایی (مانند آستاگزانتین تولید شده از جلبک‌ها یا کیتین) دریافت کنند.
2. **توزیع:** پس از مصرف، کاروتنوئیدها عمدتاً در پوست، ماهیچه‌ها، غدد چربی و گاهی تخمک‌ها رسوب می‌کنند. رنگ نهایی گوشت، تابعی از نوع کاروتنوئید و دوز مصرفی است.
3. **آستاگزانتین (Astaxanthin):** این ترکیب مهم‌ترین کاروتنوئید مورد استفاده است، زیرا رنگ قرمز/صورتی در ماهی‌های آزاد، قزل‌آلا و میگو ایجاد می‌کند. میزان این رنگ‌دانگی ارتباط مستقیمی با قیمت فروش در بازار دارد.
4. **سایر کاروتنوئیدها:** سایر کاروتنوئیدها مانند **کانتاگزانتین (Canthaxanthin)** نیز برای دستیابی به طیف‌های رنگی خاص (از زرد تا نارنجی-قرمز) در طیور و ماهی استفاده می‌شوند.

در خصوص **مکانیسم جذب کاروتنوئیدها در بدن ماهی و تولید رنگ در بافت و پوست**، مراحل کلیدی زیر را داریم:

۱. مرحله جذب از روده (Absorption)

کاروتنوئیدها (مانند آستاگزانتین) ترکیبات **چربی‌دوست (Lipophilic)** هستند. این ویژگی، نحوه جذب آن‌ها را در سیستم گوارشی ماهی تعیین می‌کند:

- **میکرومولسیون و میسل‌سازی:** هنگامی که خوراک وارد دستگاه گوارش ماهی می‌شود، کاروتنوئیدها باید از محیط آبی-لیپیدی خوراک خارج شده و به شکلی محلول در بیایند. این کار با کمک **نمک‌های صفراوی (Bile Salts)** و **لیپازهای پانکراس** انجام می‌شود که باعث تشکیل ساختارهای کوچک لیپیدی به نام **میسل (Micelles)** می‌شوند.
- **انتقال از طریق مخاط روده:** میسل‌ها حامل کاروتنوئیدها هستند و در سطح سلول‌های پوشاننده روده (انتروسیت‌ها) قرار می‌گیرند. کاروتنوئیدهای آزاد شده از میسل به سادگی از غشای سلولی عبور کرده و وارد این سلول‌ها می‌شوند.

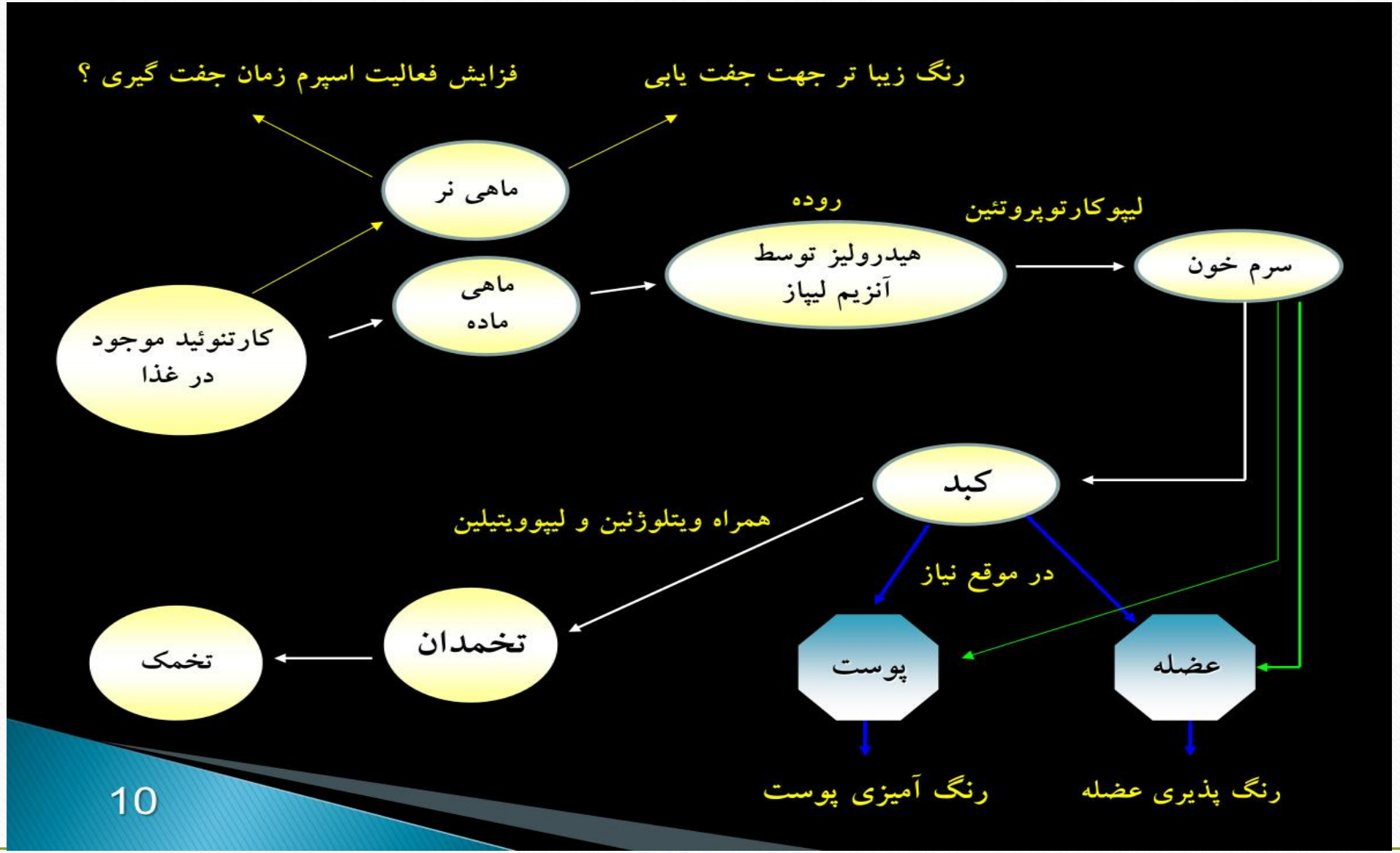
۲. مرحله انتقال و توزیع در بدن (Transport and Distribution)

پس از ورود به انتروسیت‌ها، کاروتنوئیدها باید به بافت‌های هدف (عضله، پوست، تخمدان و چربی) منتقل شوند:

•**بسته‌بندی در لیپوپروتئین‌ها:** از آنجا که کاروتنوئیدها در آب نامحلول هستند، برای حرکت در جریان خون (که محیطی آبی دارد) باید بسته‌بندی شوند. آن‌ها به پروتئین‌های حامل چربی به نام **لیپوپروتئین‌ها** (مانند VLDL یا LDL) متصل می‌شوند. این لیپوپروتئین‌ها نقش "تاکسی" را برای انتقال چربی‌ها و کاروتنوئیدها در سراسر بدن ایفا می‌کنند.

•**نقش چربی خوراک:** میزان و نوع چربی موجود در خوراک بسیار حیاتی است. چربی‌ها نه تنها انرژی فراهم می‌کنند، بلکه **به عنوان حامل اصلی** برای جذب کاروتنوئیدها عمل می‌کنند. رژیم‌های غذایی با چربی کافی، کارایی جذب را به شدت افزایش می‌دهند.

مکانیسم جذب کارتنوئید ها در بدن ماهی


فزایش فعالیت اسپرم زمان جفت گیری ؟
رنگ زیبا تر جهت جفت یابی
ماهی نر
روده
لیپوکارتوپروتئین
هیدرولیز توسط
آنزیم لیپاز
سرم خون
ماهی
ماده
کارتنوئید موجود
در غذا
کبد
همراه ویتلوژنین و لیپوویتیلین
در موقع نیاز
تخمدان
تخمک
پوست
عضله
رنگ آمیزی پوست
رنگ پذیری عضله

عوامل موثر بر جذب کارتنوئید ها در بدن آبزیان

- ✓ اندازه و سن ماهی
- ✓ ترکیب مواد غذایی
- ✓ نوع رنگدانه مصرفی
- ✓ مقدار رنگدانه موجود در غذا
- ✓ شدت تغذیه
- ✓ مراحل زندگی
- ✓ ژنتیک
- ✓ عوامل محیطی

۳. مرحله رسوب و تولید رنگ (Deposition and Pigmentation)

رسوب نهایی کاروتنوئیدها در بافت‌های هدف، فرآیند تولید رنگ را تکمیل می‌کند:

- **بافت هدف (عضله):** در ماهیانی مانند سالمون، هدف اصلی رسوب **آستاگزانتین (ASX)** در **فیبرهای ماهیچه‌ای** است که بافتی چرب (لیپیدی) دارد. کاروتنوئیدها به چربی‌های ذخیره شده در ماهیچه متصل شده و از این طریق رنگ صورتی یا قرمز را به بافت می‌دهند.
- **پوست و پوشش‌ها:** در پوست، برخی کاروتنوئیدها مستقیماً به کروماتوفورها (سلول‌های رنگی) یا لایه‌های زیرین متصل می‌شوند.
- **متابولیسم انتخابی:** بدن ماهی می‌تواند کاروتنوئیدهای دریافتی را به گونه‌های دیگر تبدیل کند. به عنوان مثال، در برخی گونه‌ها، آستاگزانتین ممکن است به **زئاگزانتین** یا **کانتاگزانتین** تبدیل شود که در بخش‌های خاصی مانند باله‌ها یا بافت‌های دیگر رسوب کرده و رنگ‌های زرد یا نارنجی ایجاد می‌کنند (همانطور که در نتایج جستجو اشاره شد، این کار متابولیسم انتخابی است).

بخش ۶: پاسخ به استرس‌های محیطی (Environmental Stress Response)

در محیط‌های پرورشی متراکم، ماهی‌ها دائماً تحت انواع استرس‌ها قرار دارند. توانایی ماهی برای مقابله با این استرس‌ها (مانند نوسانات دما، شوری، اکسیژن پایین، یا حمل و نقل) مستقیماً بر سلامت، رشد و نرخ بقای آن‌ها تأثیر می‌گذارد. کاروتنوئیدها، به ویژه آستاگزانتین (ASX)، نقش کلیدی به عنوان **آنتی‌اکسیدان‌های قوی** ایفا می‌کنند که این پاسخ دفاعی را بهبود می‌بخشند.

۱. استرس اکسیداتیو و کاروتنوئیدها

استرس محیطی باعث افزایش تولید **گونه‌های فعال اکسیژن (Reactive Oxygen Species - ROS)** در بدن ماهی می‌شود. ROS مولکول‌های بسیار واکنش‌پذیری هستند که می‌توانند به غشاهای سلولی، پروتئین‌ها و DNA آسیب برسانند (آسیب اکسیداتیو).

- **نقش آنتی‌اکسیدانی ASX:** آستاگزانتین به دلیل ساختار شیمیایی خاص خود (دارای دو گروه هیدروکسیل در دو طرف زنجیره بتا-کاروتن)، می‌تواند به طور مؤثر در غشای سلولی قرار گیرد و **به صورت فیزیکی رادیکال‌های آزاد** را در دو طرف غشاء خنثی کند. این مکانیسم آن را از آنتی‌اکسیدان‌های محلول در چربی دیگر (مانند ویتامین E) کارآمدتر می‌سازد.
- **حفاظت از بافت‌ها:** با خنثی‌سازی ROS، ASX از آسیب به بافت‌های حساس مانند کبد (مرکز متابولیسم)، روده (اولین خط دفاعی در برابر مواد مضر خوراک) و عضله محافظت می‌کند.

۲. تقویت پاسخ ایمنی (Immune Enhancement)

استرس مزمن، سیستم ایمنی ماهی را تضعیف می‌کند و آن‌ها را مستعد ابتلا به بیماری‌ها می‌کند.

کاروتنوئیدها با تعدیل پاسخ ایمنی، به ماهی کمک می‌کنند تا مقاوم‌تر باشد:

1.بهبود عملکرد سلول‌های ایمنی: مکمل‌سازی با آستاگزانتین مشاهده شده است که بر افزایش فعالیت فاگوسیتیک (بلعندگی) سلول‌های ایمنی (مانند ماکروفاژها) و همچنین افزایش پاسخ لنفوسیت‌ها تأثیر مثبت دارد.

2.افزایش تولید آنتی‌بادی: در برخی مطالعات، سطوح بالاتری از ایمونوگلوبولین‌ها (آنتی‌بادی‌ها) در ماهیانی که رژیم حاوی آستاگزانتین داشتند، مشاهده شده است، که نشان‌دهنده پاسخ ایمنی قوی‌تر در برابر پاتوژن‌ها است.

۳. تأثیر بر استرس‌های خاص

•**استرس حرارتی (دما):** در دوره‌های گرمای شدید، سطوح آنتی‌اکسیدانی طبیعی ماهی کاهش می‌یابد. افزودن ASXبه خوراک به حفظ تعادل ردوکس (کاهش-اکسایش) سلولی در دماهای بالاتر کمک می‌کند.

•**استرس حمل و نقل:** حمل و نقل طولانی‌مدت (که با کمبود اکسیژن و تغییرات فیزیکی همراه است) یک شوک اکسیداتیو بزرگ ایجاد می‌کند. ماهیانی که پیش از حمل و نقل با رژیم غنی از کاروتنوئید تغذیه شده‌اند، پس از رسیدن به مقصد، بقای بهتری نشان می‌دهند.

خلاصه بخش ۶:

کاروتنوئیدها، به ویژه آستاگزانتین، به عنوان **سپر دفاعی اصلی** در برابر استرس‌های اکسیداتیو ناشی از عوامل محیطی در پرورش ماهی عمل می‌کنند. آن‌ها نه تنها با خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد، به حفظ یکپارچگی بافت‌ها کمک می‌کنند، بلکه با تقویت سیستم ایمنی، زمینه را برای کاهش تلفات ناشی از بیماری‌ها فراهم می‌آورند.

بخش ۷: تأثیر بر رشد و بهره وری خوراک (Growth and Feed Utilization)

در صنعت آبزی‌پروری، هر افزایش جزئی در نرخ رشد یا کاهش ضریب تبدیل خوراک (FCR) می‌تواند تأثیر مالی چشمگیری داشته باشد. تأثیر کاروتنوئیدها بر این پارامترها چندوجهی است و عمدتاً به کاهش هزینه‌های مربوط به استرس و بهبود جذب مواد مغذی بازمی‌گردد.

۷.۱. بهبود نرخ رشد (Growth Rate)

اگرچه کاروتنوئیدها به طور مستقیم به عنوان منبع انرژی یا پروتئین عمل نمی‌کنند، اما تأثیر غیرمستقیم قابل توجهی بر رشد دارند:

1. **کاهش اثرات استرس:** همانطور که در بخش ۶ بحث شد، استرس اکسیداتیو ناشی از محیط پرورشی نامناسب، انرژی‌ای را که ماهی می‌توانست برای رشد صرف کند، به سمت فرآیندهای دفاعی و ترمیم سلولی منحرف می‌کند. با **خنثی‌سازی استرس اکسیداتیو توسط ASX**، ماهی می‌تواند انرژی بیشتری را به رشد بیولوژیکی اختصاص دهد و در نتیجه، نرخ رشد (مانند **نرخ افزایش وزن روزانه - WGGR**) افزایش یابد.
2. **تأثیر بر سلامت روده:** سلامت ساختاری روده برای جذب کارآمد مواد مغذی ضروری است. اگر کاروتنوئیدها (به دلیل خواص ضدالتهابی خود) به حفظ یکپارچگی پوشش روده کمک کنند، جذب اسیدهای آمینه، لیپیدها و ویتامین‌ها بهبود یافته و رشد بهتری حاصل می‌شود.

۷/۲ ضریب تبدیل خوراک (Feed Conversion Ratio - FCR)

FCR یکی از مهم‌ترین شاخص‌های بهره‌وری خوراک است که نشان می‌دهد چه مقدار خوراک برای تولید واحدی از وزن ماهی (مانند ۱ کیلوگرم) مصرف شده است. FCR پایین‌تر به معنای سودآوری بیشتر است.

- **بهینه‌سازی متابولیسم:** شواهد نشان می‌دهد که مکمل‌سازی با دوزهای بهینه آستاگزانتین می‌تواند FCR را به طور معنی‌داری بهبود بخشد. این امر عمدتاً از طریق **بهبود کارایی استفاده از پروتئین و چربی‌های خوراک** است. ماهیانی که کمتر تحت استرس هستند، مواد مغذی خوراک را با کارایی بیشتری به توده عضلانی تبدیل می‌کنند تا برای ترمیم سلولی یا تولید مواد ضد استرس صرف کنند.
- **نکته کلیدی:** اغلب، بهبود FCR با مکمل‌های کاروتنوئیدی به طور همزمان با بهبود رنگ‌پذیری رخ می‌دهد، اما باید توجه داشت که این دو مکانیسم از نظر بیولوژیکی مجزا هستند (یکی جذب رنگدانه، دیگری متابولیسم انرژی).

۷/۳. ملاحظات مربوط به دوز و بازدهی اقتصادی

باید بر روی این نکته تأکید کرد که اثرات مثبت بر رشد و FCRمعمولاً در **سطوح خاصی از دوز مکمل** مشاهده می‌شوند.

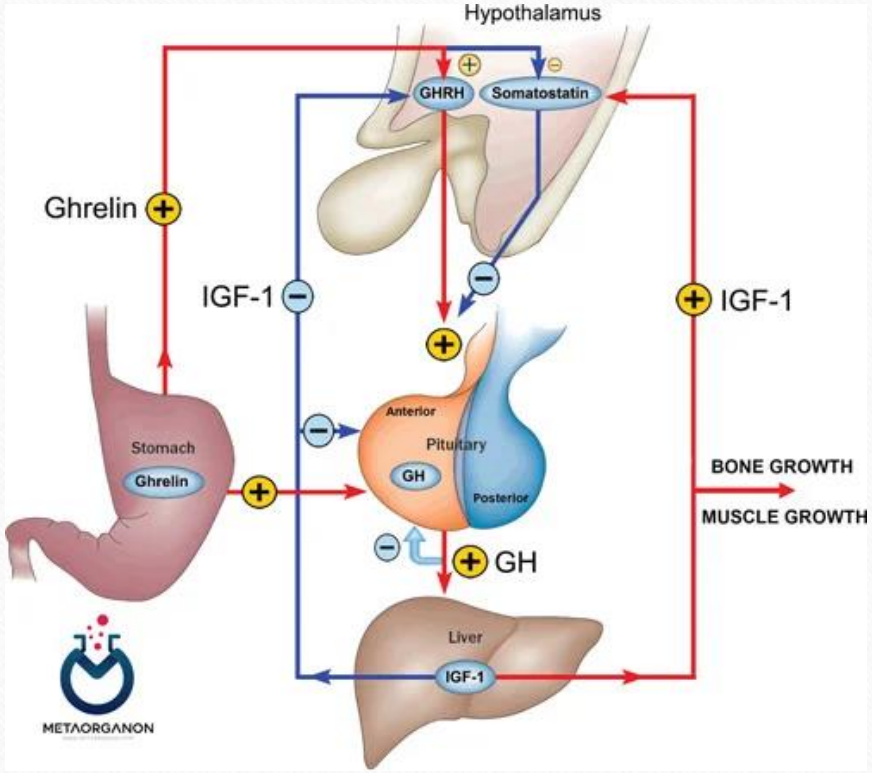
- **سقف بازدهی:** افزودن آستاگزانتین بیش از حد نیاز برای رسیدن به رنگ مطلوب، لزوماً منجر به بهبود رشد بیشتر نمی‌شود؛ در واقع، ممکن است به دلیل هزینه‌های بالای مکمل، توجیه اقتصادی نداشته باشد.
- **بهره‌وری خوراک در برابر هزینه:** تحلیل اقتصادی باید بین **هزینه آستاگزانتین اضافی** در خوراک در مقایسه با **کاهش FCR** و **افزایش ارزش نهایی محصول (به دلیل رنگ خوب)** موازنه شود.

نتیجه‌گیری اولیه برای بخش ۷:

کاروتنوئیدها در کنار نقش زیبایی‌شناختی و آنتی‌اکسیدانی خود، با کاهش بار استرس متابولیک بر ماهی، پتانسیل بهبود پارامترهای عملکردی اصلی مانند **نرخ رشد** و **FCR**را دارند و بنابراین یک مزیت اقتصادی مستقیم در خوراک فراهم می‌کنند.

بخش ۸: تأثیر بر رشد و بهره‌وری خوراک (Growth and Feed Utilization)

در صنعت آبزی‌پروری، هر افزایش جزئی در نرخ رشد یا کاهش ضریب تبدیل خوراک (FCR) می‌تواند تأثیر مالی چشمگیری داشته باشد. تأثیر کاروتنوئیدها بر این پارامترها چندوجهی است و عمدتاً به کاهش هزینه‌های مربوط به استرس و بهبود جذب مواد مغذی بازمی‌گردد.

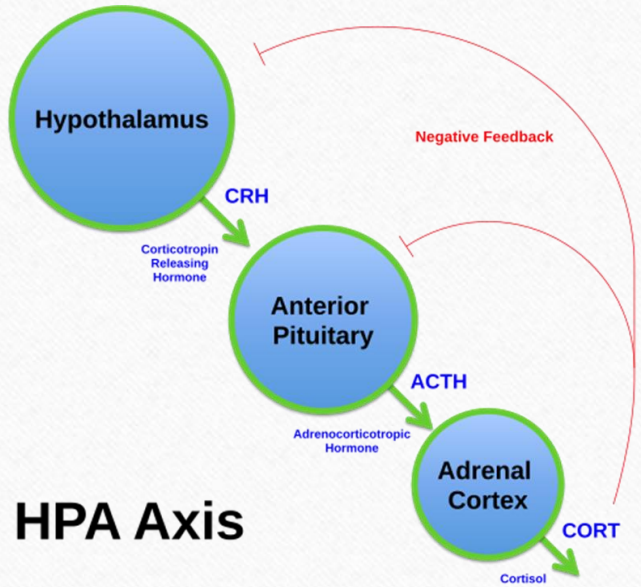


محور هورمون رشد (IGF axis–GH)

- **هورمون رشد (GH)** از غده‌ی هیپوفیز ترشح می‌شود و از طریق القای **فاکتور رشد شبه انسولین (IGF-۱)** در کبد، رشد سلولی را تحریک می‌کند.
- استرس اکسیداتیو می‌تواند تولید GH و حساسیت سلولی به IGF-۱ را کاهش دهد.
- کاروتنوئیدها با کاهش غلظت ROS و بهبود عملکرد سلول‌های اندوکرین، سبب **افزایش ترشح و حساسیت به GH و IGF-۱** می‌شوند.
- در مطالعات روی **قزل‌آلا و تیلاپیا**، تغذیه با آستاگزانتین باعث افزایش بیان ژن‌های **Gh و iGf-۱** شد، که با افزایش وزن روزانه و بهبود FCR همزمان بود.

۲. محور استرس (Cortisol regulation)

- هورمون **کورتیزول** (محصول غده فوق‌کلیوی ماهی) اصلی‌ترین پاسخ هورمونی به استرس است.
- در شرایط پر تراکم یا دمای بالا، سطوح کورتیزول افزایش می‌یابد و منجر به **کاهش رشد، کاهش ایمنی و از بین رفتن تعادل یونی** می‌شود.
- مکمل کاروتنوئیدها (به‌ویژه آستاگزانتین) با تثبیت غشای سلولی و جلوگیری از فعال‌سازی بیش از حد سیستم HPI (هیپوتالاموس–هیپوفیز–اینترنال) موجب **کاهش ترشح کورتیزول در شرایط استرس** می‌شوند.
- این اثر ضداسترسی در مطالعات متعدد به عنوان یکی از علل بهبود رشد و بقا گزارش شده است.



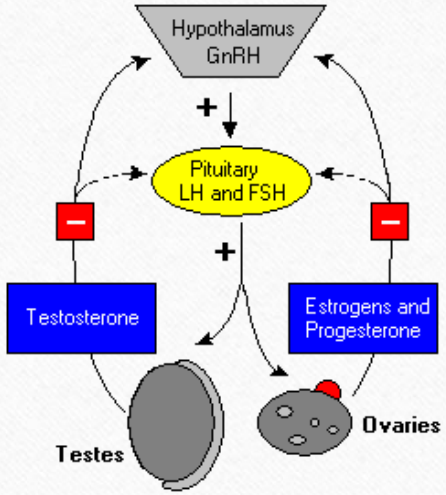
۳. محور تولیدمثل (Sex hormones)

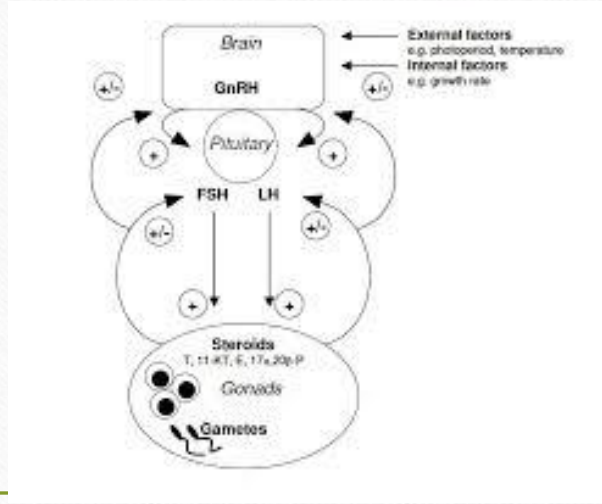
•برخی کاروتنوئیدها مانند **β-کاروتن** پیش‌ساز **رتینوئیدها (ویتامین A)** هستند که خود تنظیم‌کننده اساسی رشد سلول‌های زاینده و فعالیت گنادها هستند.

•رتینوئیدها نقش محرک در سنتز **استروژن و تستوسترون** دارند و کیفیت تخم و اسپرم را بالا می‌برند.

•در گونه‌هایی مثل **ماهی زبرا و تلاپیا نیل** گزارش شده است که افزودن β-کاروتن یا آستاگزانتین باعث افزایش قطر تخم، میزان باروری و نرخ لقاح شده است.

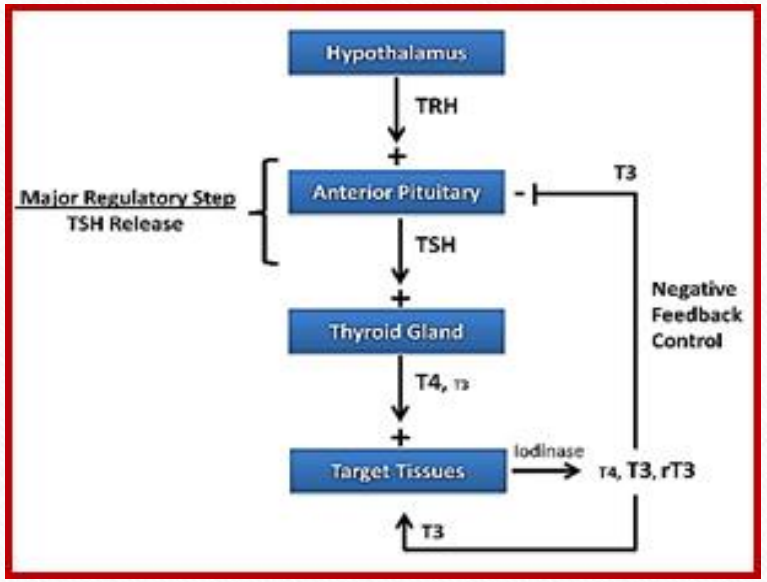
•مکانیسم احتمالی، تنظیم ژن‌های دخیل در تولید آنزیم‌های کلیدی مانند **scc۴۵۰P** (تبدیل کلسترول به پرگننولون) و تعدیل سطح استروئیدهای جنسی می‌باشد.





۴. تعدیل هورمون‌های تیروئیدی و متابولیسم

- هورمون‌های تیروئیدی (۳T، ۴T) کنترل‌کننده‌ی اصلی **متابولیسم پایه، سوخت‌وساز چربی و رشد آبشش** هستند.
- تحت استرس اکسیداتیو، تبدیل ۴T به ۳T کاهش می‌یابد.
- کاروتنوئیدها با بهبود وضعیت آنتی‌اکسیدانی تیروئید و حفظ فعالیت آنزیم دی‌یودیناز، باعث **بهینه‌سازی نسبت ۴T/۳T** و حفظ متابولیسم پایه می‌شوند.



نتیجه‌گیری بخش هورمونی

اثر کاروتنوئیدها	محور
افزایش بیان ژن‌های رشد و سنتز پروتئین	GH–IGF
کاهش ترشح و اثرات فیزیولوژیکی استرس	Cortisol
بهبود عملکرد گناد، باروری و کیفیت تخم	Sex hormones
حفظ نرخ متابولیسم و تعادل انرژی	Thyroid hormones

بنابراین، کاروتنوئیدها با اثرگذاری بر محورهای هورمونی، نه تنها باعث **افزایش رشد و بازدهی خوراک** می‌شوند، بلکه در **تنظیم تولیدمثل و سازگاری فیزیولوژیک ماهی در برابر تغییرات محیطی** نیز نقش کلیدی دارند.

منابع کاروتنوئیدها در جیره آبزیان

۱. منابع مصنوعی (Synthetic Sources)

این منابع معمولاً ارزان‌تر و از نظر ثبات کیفیت و دوزدهی قابل اعتمادتر هستند.

منبع کاروتنوئید	کاربرد اصلی	مزایا	ملاحظات
آستاگزانتین (Astaxanthin)	رنگ‌دهی (صورتی/قرمز) و آنتی‌اکسیدان قوی	بیشترین تأثیر بر رنگ، قوی‌ترین آنتی‌اکسیدان	هزینه بالاتر نسبت به کانتاگزانتین، معمولاً از منابع باکتریایی/مخمر سنتز می‌شود.
کانتاگزانتین (Canthaxanthin)	رنگ‌دهی (قرمز/نارنجی)	مقرون به صرفه‌تر، پایداری بالا	قدرت آنتی‌اکسیدانی کمتر از آستاگزانتین، نیاز به دوز بالاتر برای رسیدن به رنگ مشابه.
بتاکاروتن (Beta-Carotene)	پیش‌ساز ویتامین A و رنگ زرد/نارنجی	منبع ارزان‌تر، تبدیل به ویتامین A	تبدیل ناکارآمد در برخی گونه‌ها، رنگ‌دهی ضعیف‌تر از آستاگزانتین.

نکته کلیدی: در منابع مصنوعی، کیفیت محصول به **ایزومر** مورد استفاده بستگی دارد. آستاگزانتین باید عمدتاً در فرم (3S, 3'S) باشد تا بالاترین زیست‌دسترسی (Bioavailability) را در ماهی و میگو داشته باشد.

۲. منابع طبیعی (Natural Sources)

این منابع معمولاً حاوی مخلوطی از کاروتنوئیدها هستند و اغلب زیست‌دسترسی بالاتری دارند، اما تولید آن‌ها تحت تأثیر نوسانات فصلی و قیمت است.

الف. میکروارگانیسم‌ها (Microorganisms)

این‌ها مهم‌ترین منابع طبیعی در صنعت مدرن هستند:

- **جلبک سبز-آبی (آستاگزانتین):**
- **نمونه اصلی:** ***Haematococcus pluvialis***. این جلبک‌ها در شرایط استرس (کمبود مواد مغذی یا نور شدید) مقدار بسیار زیادی آستاگزانتین را در خود ذخیره می‌کنند.
- **مزیت:** حاوی آستاگزانتین خالص در فرم **(S’۳S, ۳)** است که بیشترین کارایی را دارد.
- **نقطه ضعف:** هزینه تولید بسیار بالا و وابستگی به فرآیندهای بیوتکنولوژیک پیچیده.
- **مخمرها (مانند *Phaffia/Xanthophyllomyces dendrorhous*):**
- منبع خوب آستاگزانتین.
- تولید آسان‌تر و ارزان‌تر نسبت به *H. pluvialis*، اما معمولاً میزان آستاگزانتین در دوز نهایی خوراک کمتر است.

ب. منابع دیگر:

- **پودر پودر گل همیشه بهار (Marigold Meal)**: حاوی لوتئین و زآگزانتین (رنگ زرد) است و بیشتر در خوراک مرغ‌های تخم‌گذار برای زرد کردن زرده استفاده می‌شود، اما در برخی جیره‌های میگو نیز کاربرد دارد.

- **میگو و خرچنگ خشک شده (Crustacean Meal)**: این مواد حاوی آستاگزانتین هستند که از تغذیه آن‌ها با جلبک‌ها به دست آمده است، اما معمولاً به دلیل نوسان محتوا و خطر اکسیداسیون، به عنوان منبع اصلی رنگ‌دهنده در خوراک‌های فرموله شده استفاده نمی‌شوند.

کاروتنوئیدهای مهم در آبزی‌پروری (با مثال‌های خاص):

۱. آستاگزانتین (Astaxanthin)

رایج‌ترین و مؤثرترین کاروتنوئید در آبزی‌پروری مدرن

- **منابع:** جلبک *Haematococcus pluvialis*، مخمر *Phaffia rhodozyma*، و ترکیبات سنتتیک.
- **گونه‌های هدف:** ماهیان سردآبی (قزل‌آلای رنگین‌کمان، سالمون اطلس)، میگوهای پنائید، ماهیان زینتی قرمز و طلایی.
- **اثرات اصلی:**
  - رنگ‌دهی قرمز/صورتی در بافت عضله و پوسته
  - افزایش مقاومت در برابر استرس حرارتی و آسیب اکسیداتیو
  - بهبود باروری در نر و ماده (اثر بر اسپرم و تخم)
  - تنظیم محور GH–IGF و مقاومت در برابر کورتیزول
- **دوز مؤثر در خوراک:** معمولاً بین ۴۰–۱۰۰ mg/kg، بسته به نوع گونه.

۲. کانتاگزانتین (Canthaxanthin)

رنگ‌دانه اقتصادی‌تر برای رنگ نارنجی تا قرمز

- **منابع:** سنتتیک، یا از برخی قارچ‌ها مانند *Monascus purpureus*.
- **گونه‌های هدف:** ماهی طلایی، ماهی‌های زینتی نارنجی و قرمز، میگوی سفید اقیانوسی (*Litopenaeus vannamei*)
- **اثرات:**
  - رنگ‌دهی مشابه آستاگزانتین اما با شدت کمتر
  - دارای آثار آنتی‌اکسیدانی و تقویت‌کننده سیستم ایمنی در دوزهای بالا
  - هزینه کمتر و پایداری بیشتر در خوراک پلت‌شده
- **دوز:** ۲۰–۸۰ mg/kg

۳. بتاکاروتن (β-Caroteno)

پیش‌ساز ویتامین A و رنگ زرد–نارنجی طبیعی

- **منابع:** جلبک سبز *Dunaliella salina*، پودر گیاهانی مانند هویج یا برگ یونجه.
- **گونه‌های هدف:** ماهیان زینتی، میگوهای زرد، برخی گونه‌های فیل‌ماهی و فیل‌پروک.
- **اثرات:**
  - تأمین ویتامین A به صورت طبیعی
  - بهبود بینایی و تمایز سلولی (ویژه در لارو و بچه‌ماهی)
  - افزایش مقاومت ایمنی به عوامل بیماری‌زا
- **نکته:** اگرچه رنگ‌دهی دارد، اما شدت رنگ نسبت به آستاگزانتین و کانتاگزانتین کمتر است.

۴. زآگزانتین (Zeaxanthin) و لوتئین (Lutein)
کاروتنوئیدهای زرد–طلایی موجود در گل همیشه‌بهار و برخی جلبک‌ها

- **منابع:** *Tagetes erecta* (گل همیشه‌بهار)، جلبک‌های سبز، ذرت، و کلروفیل‌های گون‌دار.
- **گونه‌های هدف:** ماهی‌های زینتی طلایی، دیسکاس، اروانا‌تا و ماهیان تزئینی با رنگ زرد یا طلایی.
- **اثرات:**
  - شدت رنگ زرد و طلایی در پوست و فلس‌ها
  - نقش محافظت شبکیه و بهبود بینایی (به دلیل تجمع در چشم)
  - خاصیت آنتی‌اکسیدان خفیف، مفید در دوره لارو
- **دوز:** ۱۰–۵۰ mg/kg (بسته به شدت رنگ مطلوب)

۵. کریپتوکسانتین (Cryptoxanthin)

کاروتنوئید میانی بین زآگزانتین و بتاکاروتن

- **منابع:** میوه‌ها، جلبک قرمز و برخی گونه‌های قارچ.
- **اثر:** تبدیل به ویتامین A، و بهبود سیستم ایمنی و رنگ نارنجی در گونه‌های زینتی.
- کاربرد محدود در خوراک صنعتی، اما در خوراک طبیعی (مثلاً آرد جلبک مخلوط) حضور دارد.

۶. لیکوپن (Lycopene)

رنگ‌دانه قرمز غیرقطبی — متفاوت از سایر کاروتنوئیدهای قطبی

- **منابع:** گوجه‌فرنگی، جلبک قرمز، و عصاره‌های میکروبی مهندسی‌شده.
- **گونه‌های هدف:** ماهیان زینتی قرمز، دیسکاس، سیکلیدها، گورامی‌ها.
- **اثرات:** ش
  - رنگ قرمز پررنگ و خاصیت ضدسرطانی و ضدپیری سلولی
  - آنتی‌اکسیدان بسیار قوی (اما در آبزیان کمتر پایدار)
- معمولاً در تغذیه زینتی به صورت **مخلوط با آستاگزانتین یا کانتاگزانتین** استفاده می‌شود.

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه آموزش و ترویج کشاورزی
سرمایه‌گذاری برای تولید

معاونت علمی و فناوری

شبکه دانش کشاورزی

سلسله برنامه‌های ویدیو کنفرانس انتقال دانش به روز در گستره ملی بخش کشاورزی

عنوان:

اثرات فیزیولوژیک کاروتنوئیدهای آستازانتین و بتاکاروتن بر فعالیت‌های تولید مثلی و رشد ماهی

سخنران:

بابک تیزکار

عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی گیلان

۱۱ آذر ۱۴۰۴- ساعت: ۱۰