



کاربرد ترکیبات جاذب و مکمل‌ها در جیره غذایی و تأثیرات آن بر تقویت سیستم ایمنی، رشد و بازدهی تولید در صنعت آبی پروری

امیر محمد خواجهوی^{۱*}

۱- گروه تکثیر و پرورش آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

*ایمیل نویسنده مسؤل: amir.m.khajavii@gmail.com

چکیده

در صنعت آبی پروری معاصر، تغذیه بهینه به عنوان سنگ بنای موفقیت در پرورش آبزیان شناخته می‌شود که با در نظر گرفتن سهم قابل توجه هزینه‌های تغذیه که حدود نیمی از کل هزینه‌های تولید را شامل می‌شود، طراحی جیره‌های غذایی کارآمد از اهمیت حیاتی برخوردار است. یک سیستم تغذیه‌ای مطلوب باید قادر باشد تمامی نیازهای تغذیه‌ای ماهیان را از طریق تأمین ترکیبات ضروری شامل پروتئین‌های با ارزش بیولوژیک بالا، کربوهیدرات‌های قابل متابولیسم، اسیدهای چرب ضروری، مجموعه کاملی از ویتامین‌ها و املاح معدنی برآورده سازد تا امکان رشد مطلوب و حفظ سلامت آبزیان فراهم گردد. در این راستا، استفاده از جاذب‌های غذایی به عنوان یک راهکار مؤثر در تغذیه آبزیان مورد توجه ویژه قرار گرفته است. این ترکیبات شامل طیف گسترده‌ای از مواد شیمیایی و بیولوژیکی می‌شوند که از جمله می‌توان به اسیدهای آمینه آزاد، الکل‌های مختلف، آلدئیدها، ترکیبات محرک چشایی، نوکلئوتیدها، قندهای ساده و پیچیده، اسیدهای آلی و ترکیبات مخلوط اشاره نمود. این مواد با مکانیسم‌های عمل متنوعی در بهبود عملکرد تغذیه‌ای نقش ایفا می‌کنند. جاذب‌های غذایی از طریق تقویت سیستم ایمنی بدن آبزیان، تعدیل و بهینه‌سازی متابولیسم چربی‌ها و پروتئین‌ها، ایجاد تعادل در جمعیت میکروبی روده، تسهیل فرآیندهای ذخیره و انتقال اطلاعات ژنتیکی، تنظیم دقیق فشار اسمزی و در نهایت تسریع رشد عمل می‌کنند. این ترکیبات با تأثیر بر پارامترهای مختلف فیزیولوژیک، نه تنها موجب بهبود شاخص‌های رشد و سلامت می‌شوند، بلکه از طریق کاهش ضریب تبدیل غذایی و افزایش بازدهی تولید، تأثیر مستقیمی بر کاهش هزینه‌های پرورش دارند. این مواد قادرند با تحریک گیرنده‌های چشایی و بویایی، رفتار تغذیه‌ای آبزیان را بهبود بخشند. از سوی دیگر، با تأثیر بر میکروبیوتای روده، جذب مواد مغذی را افزایش داده و از بروز مشکلات گوارشی جلوگیری می‌کنند. در سطح سلولی، این ترکیبات در سنتز و ترمیم مواد ژنتیکی، انتقال پیام‌های سلولی و تنظیم فعالیت آنزیم‌های مختلف نقش دارند. جاذب‌های غذایی با مکانیسم‌های عملکرد چندجانبه خود، تأثیرات مثبتی در بهبود شاخص‌های رشد و سلامت آبزیان دارند. این ترکیبات از یکسو با افزایش کارایی تولید و از سوی دیگر با کاهش هزینه‌های تغذیه‌ای، نقش مؤثری در توسعه پایدار صنعت آبی پروری ایفا می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: آبی پروری، تغذیه، ترکیبات جاذب، مکمل غذایی.

۱- مقدمه

تغذیه به عنوان فاکتور کلیدی در آبی پروری مدرن شناخته می‌شود که نقش تعیین‌کننده‌ای در موفقیت اقتصادی و زیستی این صنعت دارد. با در نظر گرفتن سهم قابل توجه هزینه‌های تغذیه از کل هزینه‌های تولید، طراحی جیره‌های غذایی بهینه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱]. یک سیستم تغذیه‌ای کارآمد باید ترکیبات مغذی کاملی شامل پروتئین‌های باکیفیت، کربوهیدرات‌های قابل متابولیسم، اسیدهای چرب ضروری، ویتامین‌ها و املاح معدنی را به صورت متعادل و متناسب با نیازهای فیزیولوژیک ماهیان در مراحل مختلف رشد تأمین نماید. چنین جیره‌ای نه تنها رشد سریع و یکنواخت را امکان‌پذیر می‌سازد، بلکه سلامت عمومی آبزیان را از طریق تقویت سیستم ایمنی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا تضمین می‌نماید. به کارگیری فرمولاسیون‌های علمی و دقیق در تهیه خوراک آبزیان می‌تواند به طور همزمان کارایی تولید را افزایش



داده و هزینه‌های پرورش را کاهش دهد، که این امر به نوبه خود سودآوری اقتصادی و پایداری محیط‌زیستی صنعت آبی‌پروری را به همراه خواهد داشت [۲]. استفاده از جاذب‌های شیمیایی در جیره‌های فرموله شده ماهیان از جنبه‌های مختلف حائز اهمیت است و در سال‌های اخیر کاربرد گسترده‌ای در صنعت آبی‌پروری یافته است. این ترکیبات با مکانیسم‌های مختلف موجب ارتقای کیفیت خوراک مصرفی می‌گردند. از مهم‌ترین اثرات این مواد می‌توان به کاهش زمان جذب غذا توسط ماهی، کاهش مدت زمان ماندگاری خوراک در محیط آبی و در نتیجه جلوگیری از هدررفت ترکیبات مغذی اشاره نمود. این فرآیند علاوه بر حفظ ارزش غذایی خوراک، منجر به کاهش قابل توجه آلودگی محیط‌زیستی آب می‌شود که از دیدگاه توسعه پایدار آبی‌پروری حائز اهمیت ویژه است [۳]. مصرف غذا در موجودات آبی یک پروسه انتخابی است. ماهی غذا را تست و در صورت مناسب بودن طعم آن را مصرف می‌کند. در جذب غذا حس بینایی اولین حس برای جذب غذا می‌باشد ولی حس نهایی و تعیین کننده حس چشایی است. حتی در ماهیانی که در انتخاب غذا، حس بینایی مهم‌ترین تاثیر را دارد، بازهم حس چشایی مهم بوده و حرف آخر را در مصرف غذا می‌زند. کاربرد جاذب‌های غذایی در تغذیه آبزیان به عنوان یک راهکار مؤثر در صنعت آبی‌پروری مورد توجه قرار گرفته است. طیف متنوعی از ترکیبات شیمیایی و بیوشیمیایی به عنوان جاذب‌های غذایی در جیره‌های آبزیان به کار می‌روند. این ترکیبات شامل اسیدهای آمینه آزاد، نوکلئوتیدها، انواع الکل‌ها و آلدئیدها، مواد محرک چشایی، قندها و سایر هیدروکربن‌ها و همچنین اسیدهای آلی می‌باشند که به صورت مجزا یا در ترکیب با یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند [۴]. جاذب‌ها معمولاً حاوی نیتروژن هستند. وزن مولکولی آن‌ها کم می‌باشد تا راحت‌تر هضم و جذب شوند. فرار نبوده و به راحتی در آب قابل حل می‌باشند تا ماهی از طریق آب بتواند بوی آن‌ها را حس کند. آن‌ها ترجیحاً موقعی بهتر عمل می‌کنند که همزمان عوامل گروه‌های اسیدی و بازی را داشته باشند، که به آن‌ها ترکیبات آمفوتری می‌گویند. باید به طور گسترده در تمام قسمت‌های منبع غذایی گیاهی یا حیوانی، به طور یکنواخت قرار داشته باشند. ماهیان گوشت‌خوار بیشترین واکنش را به ترکیبات قلیایی و خنثی نشان می‌دهند، گلیسین، پرولین، والین و بتائین. ماهیان علف‌خوار به ترکیبات اسیدی مانند آسپارتیک اسید و گلوتامیک اسید واکنش نشان می‌دهند. استفاده از مواد جاذب در جیره غذایی آبزیان برای افزایش بهتر شدن غذای ماهی به عنوان یک ضرورت در جهت کاهش هزینه‌های مربوط به تغذیه مطرح می‌باشد. جاذب‌های غذایی نقش چندبعدی در تغذیه آبزیان دارند. این ترکیبات سیستم ایمنی را تقویت کرده و متابولیسم چربی‌ها و پروتئین‌ها را تنظیم می‌کنند. آن‌ها با بهبود میکروفلور روده و تسهیل فرآیندهای ژنتیکی، رشد آبزیان را افزایش می‌دهند. همچنین با تنظیم فشار اسمزی و کاهش زمان سازگاری، استرس محیطی را کاهش می‌دهند. این ویژگی‌ها جاذب‌ها را به عوامل مؤثر در تغذیه آبزیان تبدیل کرده است [۵].

۲- نوکلئوتیدها

به عنوان ترکیبات حیاتی داخل سلولی با وزن مولکولی پایین شناخته می‌شوند که از سه جزء اصلی تشکیل شده‌اند شامل باز نیتروژنی (پورین یا پیریمیدین)، قند پنتوز (ریبوز یا دئوکسی ریبوز) و گروه فسفات این مولکول‌ها به طور دینامیک در چرخه‌های متابولیکی سلول شرکت داشته و به صورت مداوم در فرآیندهای سنتز، تجزیه و بازیافت شرکت می‌کنند. ساختار شیمیایی منحصر به فرد نوکلئوتیدها امکان مشارکت فعال آن‌ها در واکنش‌های بیوشیمیایی مختلف را فراهم می‌سازد. نوکلئوتیدها نقش حیاتی در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ایفا می‌کنند. این ترکیبات در مکانیسم‌های ذخیره، انتقال و بیان اطلاعات ژنتیکی مشارکت فعال دارند. از دیدگاه متابولیکی، نوکلئوتیدها به عنوان واسطه‌های کلیدی در مسیرهای تولید انرژی عمل می‌نمایند. عملکردهای متنوع این مولکول‌ها شامل مشارکت در ساختار کوآنزیم‌ها و فعالیت به عنوان تنظیم‌کننده‌های آلوستریک می‌باشد. مطالعات نشان می‌دهد که نوکلئوتیدها در تنظیم دقیق فرآیندهای سلولی و متابولیکی نقش اساسی بر عهده دارند [۶و۷]. نوکلئوتیدها تاثیر بر سوخت و ساز بدن بر روی ترکیب عضله اثرگذار هستند [۸]. نوکلئوتیدها همچنین دارای نقش‌های متابولیک متعددی مانند افزایش سطح جذب دستگاه گوارش، موثر بودن در سوخت و ساز چربی و پروتئین و همچنین افزایش جذب آهن در روده می‌باشد [۹و۸]. فاکتور رشد مستقیماً تحت تاثیر افزایش وزن

بدن قرار دارد که این پارامتر خود تابعی از دو عامل کلیدی است که شامل قابلیت پذیرش خوراک (خوش خوراکی) و میزان مصرف غذا (افزایش نرخ تغذیه) می باشد. مطالعات نشان می دهد که بهبود این شاخص های تغذیه ای منجر به تحریک مکانیسم های رشد در سطح سلولی و فیزیولوژیک می گردد. در واقع، افزایش وزن به عنوان شاخصی از کارایی رشد، وابستگی مستقیمی به پارامترهای کیفی و کمی تغذیه دارد [۱۱ و ۱۰]. ماکی و آدرون در سال ۱۹۷۸، اثرات چندین نوکلئوزید و نوکلئوتید را مورد مطالعه قرار دادند، به طوری که با استفاده از تنوع جیره های آزمایشی، آنها را به عنوان قدرتمندترین محرک های تغذیه ای چشایی برای ماهی توربوت (*Scophthalmus maximus*) بیان کردند. در رابطه با نوکلئوتیدها بیان شد که این ترکیبات نیتروژن دار با وزن مولکولی پایین از طریق افزایش مصرف خوراک و کاهش هدررفت مواد مغذی، کارایی تغذیه را به میزان قابل توجهی بهبود می بخشد. بهبود در شاخص های رشد از جمله افزایش نرخ رشد ویژه و کیفیت لاشه از دیگر اثرات مثبت این ترکیبات محسوب می شود [۱۲]. یکی از عوامل اقتصادی بودن پرورش آبزیان کاهش ضریب تبدیل غذایی است، چرا که علاوه بر کاهش هزینه های غذا و غذادهی به سبب مقدار کمتر غذادهی، از آلودگی ثانویه آب محیط پرورش و به تبع آن کاهش پارامترهای کیفی آب جلوگیری خواهد کرد، بر روی برخی گونه ها شامل شوریده قرمز (*cellatus Sciaenopso*) و هیبرید باس راه راه اختلاف معنی داری در فاکتورهای رشد با به کارگیری نوکلئوتید مشاهده نکردند. فلاحکار و همکاران [۱۳]. در بررسی اثرات نوکلئوتید در ماهی کپور معمولی پس از هشت هفته تغذیه با جیره حاوی نوکلئوتید اختلاف معنی داری را در پارامترهای وزن نهایی، افزایش وزن، ضریب تبدیل غذایی و همچنین میزان بازماندگی مشاهده نکردند اوجی فرد و همکاران [۱۴]. نیز گزارش کردند که اگر چه اضافه کردن نوکلئوتید به میزان ۰/۲ درصد به جیره غذایی میگوی وانامی سبب افزایش چربی لاشه میشود، اما اختلاف معنی داری در سایر ترکیبات لاشه مشاهده نگردید. بهمنی و همکاران [۱۵]، نیز در تحقیق روی اثر سطوح مختلف نوکلئوتید جیره بر ترکیب لاشه هامور معمولی گزارش دادند که نوکلئوتید جیره دارای اثرات مثبتی بر ترکیبات شیمیایی عضله بچه ماهی هامور معمولی در شرایط پرورشی آب شور است. سلیمی خورشیدی [۱۶]. نیز در مطالعه روی ترکیب مغذی لاشه قزل آلا رنگین کمان تغذیه شده با نوکلئوتید، گزارش کردند که کمترین میزان چربی و خاکستر و بیشترین میزان پروتئین در تیمار ۰/۲ درصد بوده است و در مورد رطوبت و ماده خشک نیز اختلاف معنی داری بین تیمارها مشاهده نشد. برخی محققین معتقدند از نوکلئوتید جیره در تحقیقات آینده می توان به عنوان جایگزین اصلی پودر ماهی در غذای آبزیان استفاده نمود. در تیلاپیا نیل، مکمل نوکلئوتیدی منجر به افزایش وزن و استفاده از خوراک بهبود یافته و پتانسیل آنها برای افزایش بهره وری کلی در آبرزی پروری را نشان می دهد [۱۷]. نوکلئوتیدها با مکانیسم های چندگانه موجب ارتقای کیفیت خوراک آبزیان می شوند. این ترکیبات از طریق تحریک رشد و بهبود مصرف خوراک نقش کلیدی در تغذیه آبزیان ایفا می کنند. استفاده از نوکلئوتیدها در جیره های حاوی سطوح کاهش یافته پودر ماهی، تأثیرات مثبتی را به دنبال دارد که این ترکیبات با تعدیل میکروفلور دستگاه گوارش و تقویت سیستم ایمنی، زمینه را برای پرورش پایدار آبزیان فراهم می سازند [۱۸]. مطالعات نشان می دهد که نوکلئوتیدهای رژیم غذایی می توانند به طور قابل توجهی معیارهای رشد مانند میانگین رشد روزانه و وزن نهایی بدن را در گونه هایی مانند میگوی سفید اقیانوس آرام و ماهی باس اروپایی افزایش دهند [۱۹].

۳- اسیدهای آمینه

کیفیت پروتئین و تعادل اسید آمینه های جیره از فاکتورهای کلیدی مؤثر بر رشد بهینه ماهیان محسوب می شوند. تحقیقات نشان می دهد که فقدان حتی یک اسید آمینه ضروری در جیره غذایی می تواند به طور قابل توجهی عملکرد رشد را محدود نماید. این کمبود موجب اختلال در سنتز پروتئین های بدن شده و در نهایت منجر به کاهش نرخ رشد و بازدهی تولید می گردد [۲۱ و ۲۰]. آمینو اسید ها مولکول هایی هستند که عملکردهای هردو گروه آمین و کربوکسیلیک را دارا می شوند. بیست عدد از ۸۰ آمینو اسید ممکن طبیعی در ساختن پروتئین نقش دارند که نیمی از آنها به عنوان محدود کننده یا ضروری نامیده می شوند که باید حتما در جیره غذایی فراهم شوند، زیرا زنجیره کربنی آنها توسط بدن حیوانات قابل ساختن نمی باشد. اکثریت آمینو اسیدهای ضروری در همه حیوانات شامل ماهی مشابه است و شامل متیونین، لایزین، آرژنین، ترئونین،



لوسین، ایزولوسین، فنیل آلانین، والین، تربیتوفان و هیستیدین می باشد [۲۲]. اسیدهای آمینه غیر ضروری (غیرمحدودکننده) به آن دسته از ترکیبات آلی گفته می شود که قابلیت سنتز درون زیستی را دارا می باشند. این گروه شامل آلانین، آسپارژین، اسید آسپارتیک، سیستئین، اسید گلوتامیک، گلوتامین، گلیسین، پرولین، سرین و تیروزین می شود [۲۳]. در این میان، سیستئین و تیروزین به عنوان اسیدهای آمینه نیمه ضروری طبقه بندی می گردند، چرا که تحت شرایط فیزیولوژیک خاصی امکان تبدیل متیونین به سیستئین و فنیل آلانین به تیروزین وجود دارد. نکته حائز اهمیت آنکه این تبدیل پذیری یک طرفه بوده و مسیر معکوس آن امکان پذیر نمی باشد. از این رو، حضور سیستئین و تیروزین در جیره غذایی می تواند تا حدی نیاز به متیونین و فنیل آلانین را کاهش دهد. این ویژگی از نظر تغذیه ای حائز اهمیت است، چرا که امکان بهینه سازی فرمولاسیون جیره و کاهش هزینه های تولید را فراهم می سازد. قیمت بالای منابع پروتئینی، محدودیت دسترسی آن ها و غیر قابل پیش بینی بودن بازار آن ها، احتیاج به منابع جایگزین پروتئینی در غذای ماهی را افزایش می دهد [۲۴]. این منابع جایگزین اغلب شامل ترکیبات پروتئینی گیاهی هستند که عمدتاً دارای کمبود اسیدهای آمینه ضروری می باشند که استفاده از آن ها را به عنوان جایگزین کامل دچار محدودیت می کند. برای مثال محدودیت های استفاده از سویا به عنوان منبع پروتئین در جیره آبزیان کمبود اسیدآمینه متیونین می باشد که با استفاده از این اسیدآمینه به صورت خالص در جیره می توان این محدودیت را تا حد زیادی برطرف کرد. لایزین یکی از محدودکننده ترین اسیدهای آمینه ضروری در محصولات گیاهی می باشد. سویا به عنوان یک منبع پروتئینی گیاهی، حاوی مقادیر قابل توجهی لیزین است. با این حال، استفاده از لیزین خالص به عنوان مکمل در جیره های حاوی سویا می تواند کیفیت پروتئین را بهینه سازی نماید. این روش امکان دستیابی به تعادل مطلوب اسیدآمینه ای را فراهم می سازد و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. مکمل سازی لیزین موجب افزایش کارایی استفاده از پروتئین سویا شده و امکان کاهش سطح کلی پروتئین جیره را بدون تأثیر منفی بر عملکرد رشد فراهم می کند. این رویکرد به ویژه در جیره هایی با محدودیت استفاده از منابع پروتئینی حیوانی حائز اهمیت است. مطالعات نشان داده اند که افزودن لیزین خالص می تواند ارزش تغذیه ای جیره های مبتنی بر سویا را به میزان قابل توجهی ارتقا بخشد [۲۵]. تحقیقات نشان داده است که استفاده از لایزین به همراه سویا باعث افزایش رشد و کارایی غذا می شود [۲۶]. میزان استفاده از اسیدهای آمینه در جیره مهم است و وقتی از آمینواسیدهای خالص به نسبت های زیاد استفاده می شود، تثبیت نیتروژنی نسبت به جیره با پروتئین حاصل از پودر ماهی، کاهش می یابد. شواهدی از ماهیان مبنی بر این که آمینواسیدها در پروتئین نسبت به حالت خالص با کارایی بالاتری مصرف می شود، بیان شده است که احتمالاً به علت جذب و سوخت و ساز سریع این ها نسبت به آمینواسیدهای موجود در پروتئین می باشد [۲۷-۲۹]. کاهش تثبیت نیتروژنی در جایگزینی پودر ماهی با اسیدهای آمینه خالص در ماهیان مختلف گزارش شده است، بطوری که در تأثیر استفاده از آمینواسیدهای خالص بر تثبیت نیتروژنی در ماهی قزل آلا رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) بیان گردیده که وقتی از آمینواسیدهای خالص به نسبت های زیادی استفاده می شود به صورتی که ۵۹/۳ درصد از نیتروژن کل را شامل شود، تثبیت نیتروژنی به میزان ۱۳/۶ درصد نسبت به جیره ساخته شده با پروتئین حاصل از پودر ماهی کاهش می یابد [۳۰]. کاهش در تثبیت نیتروژنی در ماهی آزاد اطلس (*Salmo salar*) [۳۱]، در ماهی (*Scophthalmus maximus*) [۳۲]، بیان شده است. البته در برخی ماهیان بر عکس این مطلب گزارش شده است. در ماهی سیم سر طلایی (*Sparus aurata*) [۳۳]، ماهی (*Solea senegalensis*)، [۳۲]، کارایی استفاده از اسیدهای آمینه خالص تا ۵۰ درصد در حد پروتئین آرد ماهی بیان شده است. مشکلات فراوانی در استفاده از اسیدآمینه های کریستاله یا خالص در غذاهای آبزیان وجود دارد. اولین نگرانی شسته شدن یا لیچ شدن اسید آمینه های آزاد به داخل محیط آبی و همچنین کاهش دسترسی آن ها توسط انتروسیست ها و میکروفلور دستگاه گوارش می باشد [۳۴]. دومین مسئله تفاوت در میزان جذب روده ای بین اسیدآمینه های تشکیل دهنده پروتئین ممکن است کارایی اسیدآمینه های خالص را کاهش دهد [۳۵]. فرایندهای میکروبیاندی مختلفی برای رفع این مشکل توسعه یافته است، هرچند که بیشتر روش های موجود یا ثبت گردیده اند یا به صورت انحصاری می باشند و در مجلات علمی چاپ نشده اند. بعلاوه ممکن است پاسخ های گونه ای مخصوصی به فرایندهای میکروکپسوله کردن وجود داشته باشد. سومین مسئله در افزودن اسیدآمینه های خالص به غذاهای آبزیان بخصوص در جیره-هی خالص می باشد که ممکن است تعادل اسید و باز و الکترولیت ها، میزان اسیدآمینه ها در لومن روده و پلاسما و هضم و



جذب مواد مغذی را تحت تاثیر قرار دهد. مسئله چهارم واکنش میلارد (ترکیب آمینواسید با شکر فعال) در فرآیند اکستروژن غذا می باشد که می تواند اساساً دسترس زیستی به اسیدآمینه های آزاد بخصوص آرژنین و لایزین را کاهش دهد. مورد پنجم این است که گذرگاه متابولیسم اسید آمینه ها و تنظیم آن بوسیله شاخص های عصبی، درون ریز و محیطی در حیوانات آبرزی خیلی کم درک شده است. مورد ششم، تحقیقات در خصوص فناوری هایی که موجب تحویل مطلوب اسید آمینه های محدودکننده و اسید آمینه های مهم و موثر به لارو ماهیان از طریق غذاهای زنده شود، هنوز محدود می باشد [۳۶]. بهبود این چالش ها موجب افزایش کارایی استفاده از اسیدهای آمینه مکمل در جیره های آبریان خواهد شد. تحقیقات نشان می دهد که رفع موانع موجود می تواند به طور قابل توجهی میزان جذب و بهره وری متابولیک این ترکیبات را ارتقا بخشد. این پیشرفت از طریق افزایش قابلیت دسترسی زیستی مواد مغذی، کاهش رقابت در جذب و بهبود تعادل اسیدآمینه ای محقق می شود که این رویکرد می تواند تحول قابل توجهی در صنعت آبرزی پروری ایجاد نماید [۳۷].

۴- بتائین

یک آمینواسید اشتقاقی غیرسمی و طبیعی محلول در آب است که با ایجاد طعم مناسب در غذای ابریان باعث تحریک گیرنده های بویایی و چشایی ماهی شده و باعث افزایش رشد می گردد. تقریباً در بدن تمامی موجودات زنده ساخته می شود، ولی فقط در بعضی از مهره داران و تعداد محدودی از گیاهان، این ماده را به مقدار زیاد در بدن خود ذخیره می کنند [۳۸]. مراکز پرورش ماهی به علت عدم تعادل مناسب جیره (به ویژه تعادل هیدرات های کربن و پروتئین ها و نیز استفاده از چربی های اشباع) با مشکلات کبدی در ماهیان پرورشی خود روبرو هستند که به طور مستقیم و غیرمستقیم فاکتورهای رشد را تحت تاثیر قرار می دهد. در این راستا بتائین به علت داشتن ویژگی هایی همچون خاصیت متیل دهنده گی، ترمیم آسیب های کبدی، جلوگیری از تجمع چربی در کبد، بهبود کارایی کبد تنظیم کننده فشار اسمزی و تسهیل متابولیسم چربی ها و محرک رشد می تواند در امر تغذیه بسیار مفید و ارزشمند باشد. افزودن بتائین به رژیم غذایی ماهی با بهبود عملکرد رشد، افزایش وزن بدن و بهبود ضریب تبدیل غذایی مرتبط است. همچنین بتائین متابولیسم گلوکز و لیپید را تنظیم می کند، اشتها و ذخیره انرژی را افزایش می دهد و در عین حال رسوب چربی در ماهی را کاهش می دهد [۳۹]. مکمل بتائین با تعدیل فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی، استرس اکسیداتیو را کاهش می دهد و در نتیجه مواد مضر مانند مالون دی آلدئید را در بافت های ماهی کاهش می دهد که این اثر آنتی اکسیدانی برای ماهی هایی که در معرض رژیم های غذایی پرکربوهیدرات هستند، که معمولاً باعث استرس اکسیداتیو می شوند، بسیار مهم است [۴۰]. وجود بتائین در جیره غذایی ماهیان باعث کاهش فعالیت پمپ سدیم-پتاسیم، که تعادل اسمزی را با صرف انرژی زیاد سلول ها حفظ می کند می شود و این انرژی کاسته شده را می تواند برای تولید در بدن استفاده کند و در نتیجه ساخت پروتئین و رشد را در سلول ها افزایش دهد [۴۱]. بتائین به طور مستقیم نقش متیل دهنده گی و وظیفه اصلی متابولیسم و فیزیولوژیکی را در بدن بازی می کند [۴۲]. که با توجه به این خاصیت در ساخت موادی نظیر کارنتین و اسیدآمینه گلیسین متیونین که باعث پروتئین سازی، افزایش رشد و همچنین اکسیداسیون چربی ها و عدم تجمع آن ها در بدن می شوند، نقش دارند و در نتیجه نسبت ماهیچه به چربی در بدن افزایش می یابد. به علاوه بتائین به عنوان یک دهنده متیل می تواند بخشی از وظیفه متیونین را به عنوان دهنده متیل انجام دهد، بنابراین متیونین بیشتری می تواند صرف پروتئین سازی و رشد شود [۴۳]. نیرومند و همکاران [۴۴]. بیان کردند بتائین اثر مثبتی بر شاخص های رشد و ترکیبات لاشه (افزایش پروتئین و کاهش چربی) در جیره قزل آلا رنگین کمان دارد. باراک و همکاران [۴۵]. از بتائین به عنوان یک ترکیب چربی دوست نام می برند که باعث ورود آسان چربی ها به متابولیسم بدن شده و کاهش چربی های بدن را باعث می شود. با استفاده از ۱/۵-۱٪ بتائین در جیره قزل آلا آتلانتیک (*Salmo salar*) منجر به افزایش ۱۲ درصدی شاخص رشد و کاهش ۶۰٪ مرگ و میر ماهیان در آب شور گردید. همچنین بتائین در کاهش مرگ و میر در برابر استرس شوری و دما در میگوی سفید هندی (*Fenneropenaeus indicus*) و ماهی قزل آلا رنگین کمان [۴۶]. به اثبات رسیده است. بتائین با بهبود عملکرد رشد، راندمان مصرف خوراک و وضعیت آنتی اکسیدانی، خوراک



ماهی را بهبود می‌بخشد. این ماده به عنوان یک اسمولیت عمل می‌کند، متابولیسم را تنظیم می‌کند و از سنتز پروتئین پشتیبانی می‌کند و در نهایت باعث بهبود سلامت و کاهش استرس و حساسیت به بیماری در ماهی می‌شود [۴۷]. مطالعات نشان داده اند که به کار بردن بتائین در جیره غذایی، پارامترهای ایمنی غیر اختصاصی را در ماهی‌هایی مانند تیلاپای نیل بهبود می‌بخشد و منجر به افزایش مقاومت در برابر بیماری می‌شود.

منابع

- [1] Pradeepkiran J. A. (2019). Aquaculture role in global food security with nutritional value: a review. *Translational animal science*, 3(2), 903–910.
- [2] Kwasek, K., Thorne-Lyman, A. L., & Phillips, M. (2020). Can human nutrition be improved through better fish feeding practices? a review paper. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(22), 3822–3835.
- [3] García Beltrán, J. M., & Esteban, M. Á. (2022). Nature-identical compounds as feed additives in aquaculture. *Fish & shellfish immunology*, 123, 409–416.
- [4] Cheng, H., Mei, J., & Xie, J. (2024). Analysis of changes in volatile compounds and evolution in free fatty acids, free amino acids, nucleotides, and microbial diversity in tilapia (*Oreochromis mossambicus*) fillets during cold storage. *Journal of the science of food and agriculture*, 104(5), 2959–2970.
- [5] Ma, K., Chen, S., Wu, Y., Ma, Y., Qiao, H., Fan, J., & Wu, H. (2022). Dietary supplementation with microalgae enhances the zebrafish growth performance by modulating immune status and gut microbiota. *Applied microbiology and biotechnology*, 106(2), 773–788.
- [6] M. Cosgrove, "Nucleotides," *Nutrition*, Vol. 14, pp. 748–751, October 1998.
- [7] Rotwein P. (2020). Regulation of gene expression by growth hormone. *Molecular and cellular endocrinology*, 507, 110788.
- [8] P. Li, D. H. Lewis, D. M. Gatlin, "Dietary oligonucleotide from yeast RNA influences immune responses and resistance of hybrid striped bass (*Morone chrysops* M. *saxatilis*) to *Streptococcus* infection," *Fish and Shellfish Immunology*, Vol. 16, pp. 561-569, May 2004.
- [9] T. Frankie, T. Pajik, V. Rezar, A. Levart, J. Salobir, "The role of dietary in nucleotides reduction of DNA damage induced by T-2 toxin and deoxynivalenol in chicken leukocytes," *Food and Chemical Toxicology*, Vol. 44, pp. 1838-1844, November 2006.
- [10] P. Przybilla, J. B. Wei, "Pflanzlich futter zusatzst offe in der Schweinemast. Die Mastleistung natuerlich verbessern," *DGS- Magazing*, Vol. 40, pp. 52-57, 1998.
- [11] Li, Y., Lu, X., Dong, L., Peng, D., Zhang, J., Cui, Z., Wen, H., Tian, J., & Jiang, M. (2024). Replacing soybean meal with fermented rapeseed meal in diets: potential effects on growth performance, antioxidant capacity, and liver and intestinal health of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish physiology and biochemistry*, 50(4), 1683–1699.
- [12] Wong, M. H., Mo, W. Y., Choi, W. M., Cheng, Z., & Man, Y. B. (2016). Recycle food wastes into high quality fish feeds for safe and quality fish production.
- [13] B. Falahatkar, H. Abdi, N. Mahmoudi, "Effects of dietary nucleotides on resources body's energy and growth performance of common carp (*Cyprinus carpio*)," *Journal of Fisheries*, Vol. 21, pp. 133-146, 2010.
- [14] A. Oujifard, A. Abedian kenari, A. Taheri, A. Kazeruni, "Effect of dietary nucleotides on intestinal structural changes, growth and fatty acid profile of western white shrimp (*Litopenaeus vanamei*)," *Journal of Fisheries of Iran*, Vol. 20, pp. 10-1, 2011.
- [15] M. Bahmani, A. Zarif fard, M. Khodadadi, N. Mahmudi, A. Oujifard, "Effect of different levels of dietary nucleotides on the typical grouper fish carcass (*Epinephelus coioides*)," *Iranian Journal of Fisheries*, Vol. 19, pp. 11-20, 2010.
- [16] N. Salimi khorshidi, S. Keyvan Shokuh, A. Salaty, M. Zakeri, N. Mahmudi, A. Tahmasebi Kahyani, A, "Effect of different levels of dietary nucleotides on body composition in fingerling rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)," *Journal of Oceanography*, Vol. 9, pp. 46-41, 2011.



- [17] Anguiano, M. (2012). Effects of dietary nucleotides on growth, immunology, and disease resistance of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) (Doctoral dissertation).
- [18] Pelusio, N. F., Parma, L., Volpe, E., Ciulli, S., Errani, F., Natale, S., ... & Bonaldo, A. (2023). Yeast-extracted nucleotides and nucleic acids as promising feed additives for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1145660.
- [19] Rheido, G., Mulyono, M., & Lubis, A. S. (2024). Inclusion effect of nucleotide on growth and protein retention in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931). *Indonesian Aquaculture Journal*, 19(1), 99-109.
- [20] J. E. Halver, The vitamins. In: Halver, J.E. (Ed.), *Fish Nutrition*, Academic Press, San Diego, USA, pp. 32–111.
- [21] Ferosekhan, S., Sari, S., Afonso, J. M., Zamorano, M. J., Fontanillas, R., Izquierdo, M., Kaushik, S., & Montero, D. (2022). Selection for high growth improves reproductive performance of gilthead seabream *Sparus aurata* under mass spawning conditions, regardless of the dietary lipid source. *Animal reproduction science*, 241, 106989.
- [22] K. Dabrowski, H. Guderley, "Intermediary metabolism," *Fish nutrition*, Vol. 3, pp. 309-365, November 2002.
- [23] Li, J., Zhang, Y., Chen, Y., Shang, X., Ti, T., Chen, H., Wang, T., Zhang, J., & Xu, X. (2018). Synthesis, binding ability, and cell cytotoxicity of fluorescent probes for L-arginine detection based on naphthalene derivatives: Experiment and theory. *Journal of molecular recognition: JMR*, 31(1), 10.1002/jmr.2657.
- [24] M. Azaza, K. Wassim, F. Mensi, A. Abdelmouleh, B. Brini, M. Kraïem, "Evaluation of faba beans (*Vicia faba* L. var. *minuta*) as a replacement for soybean meal in practical diets of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*," *Aquaculture*, Vol. 287, pp. 174-179, February 2009.
- [25] Heuel, M., Sandrock, C., Leiber, F., Mathys, A., Gold, M., Zurbrüegg, C., Gangnat, I. D. M., Kreuzer, M., & Terranova, M. (2022). Black soldier fly larvae meal and fat as a replacement for soybeans in organic broiler diets: effects on performance, body N retention, carcass and meat quality. *British poultry science*, 63(5), 650–661.
- [26] J. W. Andrews, J. W. Page, "Growth factors in the fish meal component of catfish diets," *The Journal of nutrition*, Vol. 104, pp. 1091-1096, August 1974.
- [27] H. Thebault, "Plasma essential amino acids changes in sea-bass (*Dicentrarchus labrax*) after feeding diets deficient and supplemented in L-methionine," *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, Vol. 82, pp. 233-237, January 1985.
- [28] C. Cowey, M. Walton, "Studies on the uptake of (14C) amino acids derived from both dietary (14C) protein and dietary (14C) amino acids by rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson," *Journal of Fish Biology*, Vol. 33, pp. 293-305, August 1988.
- [29] L. Lumbard, Utilization of crystalline lysine by palmetto bass, *Morone saxatilis* female × *Morone chrysops* male, Master of Science thesis, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana, 1997.
- [30] J. Green, R. Hardy, "The optimum dietary essential amino acid pattern for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), to maximize nitrogen retention and minimize nitrogen excretion," *Fish Physiology and Biochemistry*, Vol. 27, pp. 97-108, September 2002.
- [31] X. Rollin, M. Mambrini, T. Abboudi, Y. Larondelle, S. J. Kaushik, "The optimum dietary indispensable amino acid pattern for growing Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fry," *British Journal of Nutrition*, Vol. 90, pp. 865-876, November 2003.
- [32] A. Pérez-Jiménez, H. Peres, A. Oliva-Teles, "Effective replacement of protein-bound amino acids by crystalline amino acids in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) juveniles," *Aquaculture Nutrition*, Vol. 20, pp. 60-68, February 2014.
- [33] H. Peres, A. Oliva-Teles, "The optimum dietary essential amino acid profile for gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles," *Aquaculture*, Vol. 296, pp. 81-86, November 2009.
- [34] G. Wu, G., "Intestinal mucosal amino acid catabolism," *The Journal of nutrition*, Vol. 128, pp. 1249-1252, August 1998.



- [35] T. Murai, T. Akiyama, H. Ogata, T. Nose, Y. Hirasawa, "Effect of coating amino acids with casein supplemented to gelatin diet on plasma free amino acids of carp (*Cyprinus carpio*)," Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries (Japan), 1982.
- [36] M. Saavedra, L. Conceição, P. Pousão-Ferreira, M. Dinis, M., "Metabolism of tryptophan, methionine and arginine in *Diplodus sargus* larvae fed rotifers: effect of amino acid supplementation," Amino acids, Vol. 35, pp. 59-64, January 2008.
- [37] Li, X., Zheng, S., & Wu, G. (2021). Nutrition and Functions of Amino Acids in Fish. Advances in experimental medicine and biology, 1285, 133–168.
- [38] C. Loguercio, A. Federico, M. Trappoliere, C. Tuccillo, I. de Sio, B. Di Leva, M. Niosi M, M. V. D'Auria, R. Capasso, B. C. Del Vecchio, "The effect of a silybinvitamin Ephospholipid complex on nonalcoholic fatty liver disease: a pilot study," Digestive Diseases and Science, Vol. 52, pp. 2387-2395, September 2007.
- [39] Ismail, T., Nassef, E.-D., Hegazi, E., Bakr, A., Moustaf, E. M., Abdo, W., & Elbialy, Z. I. (2019). The modulatory effect of dietary betaine on intestinal absorptive capacity, lipogenesis and expression of lipid metabolism- and growth-related genes in Nile tilapia fed on soybean meal-based diet. Slovenian Veterinary Research, 56, 25–38.
- [40] Li, H., Zeng, Y., Zheng, X., Wang, G., Tian, J., Gong, W., ... & Yu, E. (2023). Dietary betaine attenuates high-carbohydrate-diet-induced oxidative stress, endoplasmic reticulum stress, and apoptosis in mandarin fish (*Siniperca chuatsi*). Antioxidants, 12(10), 1860.
- [41] G. W. Moeckel, R. Shadman, J. M. Fogel, S. M. H. Sadrzade, "Organic osmolytes betaine, sorbitol and inositol are potent inhibitors of erythrocyte membrane ATPase," Livestock Science, Vol. 71, pp. 2413-2433, October 2002.
- [42] A. Polat, G. Beklevik, "The importance of betaine and some attractive substances as fish feed additives, In: Brufu J., Tacon A. (Eds.). Feed Manufacturing in the Mediterranean Region," Recent Advances in Research and Technology Zaragoza, CIHEAM, IAMZ, Spain, p. 217-220, 1999.
- [43] M. Eklund, E. Bauer, J. Wanatu, R. Mosenthin, "Potential of nutritional and physiological functions of betaine in livestock," Nutr. Res. Rev, Vol. 18, pp, 31-48, January 2005.
- [44] M. Niroomand, M. Sajjadi, M. Yahyavi, M. Asadi M, "The impact of different levels of Betaine on growth factors of ration, survival, the chemical composition of the body and the resistance of the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry," Iranian Journal of fisheries, Vol. 1, pp. 135-146, 2011.
- [45] A. J. Barak, H. C. Beckenhauer, M. Junila, D. J. Tuma, "Dietary betaine promotes generation of hepatic S-adenosylmethionine and protect the liver from ethanol induced fatty infiltration," Alcoholism: Clinical and Experimental Research, Vol. 17, pp. 552-555, January 1993.
- [46] M. Asadi, G. H. Azari-Takami, M. Sajjadi, M. Moezi, M. Niroomand, "The effects of enriched rotifers with betaine and concentrate diet supplemented by betaine on the growth, survival and stress-resistance in Indian white shrimp larvae (*Litopenaeus vannamei*)," Iranian Journal of Fisheries, Vol. 3, pp. 1-10, 2010.
- [47] Muhamad, I., Setiawati, M., Wiyoto, W., & Ekasari, J. (2021). Dietary supplementation of betain to improve the growth and feed utilization in hybrid grouper (*Epinephelus lanceolatus* ♂ × *Epinephelus fuscoguttatus* ♀) juvenile. Jurnal Akuakultur Indonesia, 20(1), 24–33