

تأثیر پروبیوتیک‌ها در پیشگیری از بروز بیماری در میگو

**دکتر رضا اسدی - مدیر کل دفتر بهداشت، پیشگیری و مدیریت بیماریهای آبزیان
سازمان دامپزشکی کشور**

مقدمه

پرورش میگو یکی از مهم‌ترین شاخه‌های آبی‌پروری در جهان است و توسعه سیستم‌های متراکم پرورش، اگرچه موجب افزایش تولید شده است، هم‌زمان خطر بروز بیماری‌های عفونی و خسارات اقتصادی ناشی از آن‌ها را افزایش داده است. بیماری‌هایی نظیر بیماری لکه سفید ناشی از ویروس WSSV، بیماری‌های مرتبط با گونه‌های مختلف *Vibrio*، بیماری نکروز حاد هپاتوپانکراس (AHPND)، بیماری‌های مرتبط با *Vibrio parahaemolyticus* و سایر اختلالات میکروبی از مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده صنعت پرورش میگو هستند. در چنین شرایطی، استفاده گسترده یا نامناسب از آنتی‌بیوتیک‌ها می‌تواند مشکلاتی مانند مقاومت میکروبی، برهم خوردن تعادل میکروبی محیط و باقی‌مانده دارویی ایجاد کند.

پروبیوتیک‌ها به‌عنوان میکروارگانیسم‌های زنده‌ای که در صورت استفاده مناسب می‌توانند اثرات مفیدی بر میزبان داشته باشند، طی سال‌های اخیر به‌عنوان یکی از ابزارهای زیستی مهم در مدیریت سلامت میگو مورد توجه قرار گرفته‌اند. شواهد پژوهشی نشان می‌دهد که پروبیوتیک‌ها می‌توانند از طریق رقابت با عوامل بیماری‌زا، تولید ترکیبات ضد میکروبی، تغییر ترکیب میکروبیوتای روده، بهبود عملکرد دستگاه گوارش، تحریک سیستم ایمنی ذاتی، افزایش فعالیت آنزیم‌ها و بهبود کیفیت آب، مقاومت میگو را در برابر عوامل بیماری‌زا افزایش دهند.

در مورد بیماری‌های ویروسی، به‌خصوص WSSV، نتایج امیدوارکننده‌ای درباره نقش برخی سویه‌های پروبیوتیکی در تقویت ایمنی و کاهش بار ویروسی گزارش شده است؛ با این حال، شواهد مربوط به بیماری‌های باکتریایی همچنان قوی‌تر از شواهد مربوط به بیماری‌های ویروسی است و پروبیوتیک را نباید جایگزین کامل مدیریت زیستی، امنیت زیستی و تشخیص بیماری دانست. صنعت پرورش میگو در دهه‌های اخیر رشد قابل توجهی داشته و نقش مهمی در تأمین پروتئین آبی، اشتغال و اقتصاد بسیاری از کشورهای تولیدکننده ایفا می‌کند. افزایش تقاضا برای میگو باعث توسعه سیستم‌های متراکم و فوق‌متراکم پرورش شده است. اگرچه افزایش تراکم امکان افزایش تولید در واحد سطح را فراهم می‌کند، اما هم‌زمان فشارهای محیطی، استرس، تجمع مواد آلی و افزایش احتمال انتقال عوامل بیماری‌زا را نیز بیشتر می‌کند.

در سیستم‌های متراکم، عواملی مانند کاهش کیفیت آب، افزایش آمونیاک و نیتريت، تجمع مواد آلی، تغییر pH و اکسیژن محلول، تراکم بالا، تغذیه نامناسب و استرس‌های محیطی می‌توانند تعادل بین میگو، محیط و جمعیت میکروبی را برهم بزنند. در نتیجه، فرصت بیشتری برای تکثیر میکروارگانیسم‌های فرصت‌طلب و بروز بیماری ایجاد می‌شود.

پروبیوتیک چیست؟

پروبیوتیک‌ها در مفهوم عمومی، میکروارگانیسم‌های زنده‌ای هستند که در صورت استفاده مناسب، می‌توانند برای میزبان یا محیط پرورش اثرات مفیدی داشته باشند.

در آبی‌پروری، پروبیوتیک ممکن است به شکل‌های زیر استفاده شود :

-مکمل خوراکی

-افزودنی به آب

-ترکیبی از چند سویه

-همراه با پری‌بیوتیک‌ها به شکل سین‌بیوتیک

-یا در برخی کاربردهای جدید به صورت فرآورده‌های مشتق از میکروارگانیسم‌ها

چرا پروبیوتیک‌ها در پرورش میگو اهمیت دارند؟

میگو برخلاف پستانداران دارای سیستم ایمنی تطبیقی کلاسیک نیست و دفاع آن عمدتاً به سیستم ایمنی ذاتی وابسته است. این سیستم شامل موانع فیزیکی، سلول‌های دفاعی مانند هموسیت‌ها و عوامل دفاعی محلول است.

از مهم‌ترین اجزای دفاعی میگو می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

هموسیت‌ها؛ فاگوسیتوز؛ کپسوله‌سازی؛ **modulation**؛ سیستم پروفنل‌اکسیداز؛ پپتیدهای ضد میکروبی؛ لکتین‌ها؛ آگلوتینین‌ها؛ سیستم‌های پیام‌رسانی ایمنی

مطالعات جدید نشان می‌دهند که پروبیوتیک‌ها می‌توانند برخی از این مسیرهای دفاعی را تعدیل کنند و در نتیجه ظرفیت میگو برای مقابله با عوامل بیماری‌زا افزایش یابد. بنابراین، اثر پروبیوتیک فقط محدود به «از بین بردن باکتری بیماری‌زا» نیست؛ بلکه می‌تواند مجموعه‌ای از ارتباط بین روده، میکروبیوتای، سیستم ایمنی و محیط پرورش را تغییر دهد.

مکانیسم‌های اصلی اثر پروبیوتیک‌ها در پیشگیری از بیماری میگو

۱- رقابت با عوامل بیماری‌زا

یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های پروبیوتیک‌ها، رقابت زیستی با میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا است.

باکتری‌های مفید پس از ورود به دستگاه گوارش یا محیط پرورش، برای منابعی مانند: مواد غذایی؛ کربن؛ نیتروژن؛ آهن؛ محل اتصال به سطوح زیستی با عوامل بیماری‌زا رقابت می‌کنند.

اگر پروبیوتیک بتواند سریع‌تر از پاتوژن رشد یا مستقر شود، فرصت تکثیر عامل بیماری‌زا کاهش پیدا می‌کند.

این پدیده با عنوان **competitive exclusion** یا حذف رقابتی شناخته می‌شود و یکی از مکانیسم‌های اصلی مطرح‌شده برای کنترل باکتری‌های بیماری‌زا در آبی‌پروری است

۲- تولید ترکیبات ضد میکروبی

برخی پروبیوتیک‌ها می‌توانند ترکیباتی تولید کنند که رشد باکتری‌های بیماری‌زا را مهار می‌کنند. این ترکیبات ممکن است شامل: باکتریوسین‌ها؛ اسیدهای آلی؛ ترکیبات ضد میکروبی؛ آنزیم‌ها و متابولیت‌های ثانویه باشند. در نتیجه، پروبیوتیک می‌تواند مستقیماً رشد برخی عوامل بیماری‌زا را کاهش دهد

نقش پروبیوتیک در کنترل بیماری‌های ناشی از ویبریو

باکتری‌های جنس ویبریو از مهم‌ترین گروه‌های باکتریایی مرتبط با بیماری‌های میگو هستند. البته باید توجه داشت که همه گونه‌ها و سویه‌های ویبریو بیماری‌زا نیستند و برخی از آن‌ها حتی در شرایط خاص به عنوان میکروارگانیسم‌های مفید یا پروبیوتیک مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در شرایط استرس، تغییر کیفیت آب یا اختلال در تعادل میکروبی، برخی سویه‌های بیماری‌زا می‌توانند افزایش پیدا کنند.

پروبیوتیک‌ها می‌توانند از راه‌های زیر به کاهش خطر بیماری‌های باکتریایی کمک کنند :

- رقابت با ویبریو

- تولید مواد ضد باکتری

- کاهش مواد آلی قابل استفاده برای پاتوژن

- تقویت سد روده

-تحریک سیستم ایمنی

-تغییر ترکیب میکروبیوتای روده

مرورهای علمی نشان داده‌اند که شواهد مربوط به اثر پروبیوتیک‌ها علیه عفونت‌های باکتریایی، به‌ویژه ویبریوز، نسبتاً قابل توجه است

نقش پروبیوتیک در بیماری AHPND

بیماری Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease یا AHPND یکی از بیماری‌های مهم میگو است که با برخی سویه‌های بیماری‌زای *Vibrio parahaemolyticus* تولید سموم مرتبط است.

در مدیریت چنین بیماری‌هایی، هدف فقط حذف یک باکتری از محیط نیست؛ بلکه باید شرایطی ایجاد شود که فرصت رشد و غالب شدن عوامل بیماری‌زا کاهش پیدا کند.

پروبیوتیک‌ها در این زمینه می‌توانند با یکی از روشهای زیر به عنوان یکی از اجزای مدیریت بیماری مورد استفاده قرار گیرند.

-رقابت با باکتری‌های بیماری‌زا

-بهبود وضعیت روده

-افزایش مقاومت عمومی میگو

-و بهبود شرایط میکروبی آب

با این حال، استفاده از پروبیوتیک به تنهایی نباید به عنوان درمان قطعی AHPND در نظر گرفته شود.

تأثیر پروبیوتیک بر بیماری لکه سفید WSSV

ویروس لکه سفید یا **White Spot Syndrome Virus (WSSV)** یکی از مهم‌ترین عوامل بیماری‌زای ویروسی در صنعت میگو است.

این بیماری می‌تواند در مدت کوتاهی باعث تلفات شدید شود و از این نظر اهمیت اقتصادی بسیار زیادی دارد.

در مورد WSSV، پروبیوتیک‌ها برخلاف آنتی‌ویروس‌های مستقیم، عمدتاً از طریق **تقویت توان دفاعی میزبان** مورد توجه قرار گرفته‌اند.

مطالعات نشان داده‌اند که برخی پروبیوتیک‌ها، از جمله برخی سویه‌های *Bacillus*، *Lactobacillus* و *Pediococcus pentosaceus*، می‌توانند:

- پاسخ ایمنی ذاتی را تقویت کنند

- مقاومت میگو در برابر WSSV را افزایش دهند

- در برخی آزمایش‌ها بار ویروسی را کاهش دهند

- وضعیت میکروبیوتای روده را بهبود دهند

- در برخی شرایط بقا را افزایش دهند

با این حال، باید تأکید کرد که شواهد مربوط به کنترل بیماری‌های باکتریایی توسط پروبیوتیک‌ها در مجموع قوی‌تر از شواهد مربوط به کنترل مستقیم بیماری‌های ویروسی است. بنابراین پروبیوتیک را نباید «واکسن» WSSV یا درمان قطعی آن تلقی کرد.

پروبیوتیک و تقویت سیستم ایمنی میگو

یکی از مهم‌ترین دلایل استفاده از پروبیوتیک‌ها، توانایی بالقوه آن‌ها در تحریک سیستم ایمنی ذاتی میگو است. مطالعات جدید نشان می‌دهند که پروبیوتیک‌ها می‌توانند بر برخی مولکول‌ها و مسیرهای مهم ایمنی تأثیر بگذارند. از جمله: سیستم پروفنل اکسیداز؛ پپتیدهای ضد میکروبی؛ فعالیت هموسیت‌ها؛ فاگوسیتوز؛ مسیرهای Toll؛ لکتین‌ها؛ پاسخ‌های سلولی و هومورال.

به عبارت دیگر، پروبیوتیک ممکن است باعث شود میگو در هنگام مواجهه با عامل بیماری‌زا آمادگی دفاعی بیشتری داشته باشد

نقش پروبیوتیک در بهبود هضم و تغذیه

برخی پروبیوتیک‌ها قادر به تولید آنزیم‌های گوارشی هستند.

از جمله: پروتئاز- آمیلاز- لیپاز- سلولاز که می‌توانند در تجزیه مواد غذایی نقش داشته باشند.

بهبود هضم می‌تواند باعث افزایش جذب مواد مغذی و کاهش بخشی از مواد آلی دفع‌شده به محیط شود. این موضوع از دو جهت اهمیت دارد:

اول: وضعیت تغذیه‌ای و مقاومت میگو بهتر می‌شود.

دوم: کاهش مواد آلی اضافی می‌تواند شرایط نامطلوب برای رشد برخی میکروارگانیسم‌های فرصت‌طلب را کاهش دهد.

بنابراین اثر پروبیوتیک می‌تواند هم به صورت مستقیم بر بدن میگو و هم به صورت غیرمستقیم بر محیط پرورش ظاهر شود.

نقش پروبیوتیک در بهبود کیفیت آب

یکی از ویژگی‌های مهم برخی پروبیوتیک‌های مورد استفاده در آبی‌پروری، تأثیر آن‌ها بر فرایندهای میکروبی محیط است.

برخی میکروارگانیسم‌ها می‌توانند در موارد زیر نقش داشته باشند :

-تجزیه مواد آلی

-مصرف برخی مواد مغذی

-مدیریت ترکیبات نیتروژنه

-کاهش تجمع مواد آلی

-ایجاد تعادل میکروبی

به همین دلیل، پروبیوتیک در پرورش میگو تنها به عنوان «مکمل غذایی» مطرح نیست، بلکه می‌تواند بخشی از مدیریت میکروبی آب و بستر استخر نیز باشد.

مهم‌ترین جنس‌های باکتریایی مورد استفاده به عنوان پروبیوتیک

۱- *Bacillus*

گونه‌های مختلف جنس *Bacillus* از شناخته‌شده‌ترین پروبیوتیک‌های مورد استفاده در آبی‌پروری هستند.

۲- *Lactobacillus*

گونه‌های مختلف *Lactobacillus* نیز در تحقیقات مربوط به سلامت روده و ایمنی میگو مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

اثرات احتمالی شامل: تولید اسیدهای آلی؛ تغییر شرایط روده؛ رقابت با پاتوژن‌ها؛ تعدیل میکروبیوتا؛ تحریک برخی پاسخ‌های ایمنی می باشد .

Pediococcus-۳

برخی سویه‌های *Pediococcus* نیز در مطالعات مرتبط با تقویت مقاومت میگو، به‌خصوص در زمینه WSSV، مورد توجه قرار گرفته‌اند.

روش‌های استفاده از پروبیوتیک در پرورش میگو

پروبیوتیک‌ها معمولاً به دو روش اصلی وارد سیستم پرورش می‌شوند:

الف) استفاده از طریق خوراک

در این روش، پروبیوتیک با خوراک مخلوط یا به صورت پوشش‌دهی روی خوراک استفاده می‌شود.

ب) افزودن به آب

در این روش، پروبیوتیک مستقیماً وارد آب استخر یا سیستم پرورش می‌شود.

برخی منابع، استفاده خوراکی را برای انتقال پروبیوتیک به آبزی مؤثرتر می‌دانند، در حالی که کاربرد آبی بیشتر برای مدیریت محیط مطرح است

استفاده هم‌زمان از چند سویه پروبیوتیکی

در برخی مطالعات، ترکیب چند سویه نسبت به استفاده از یک سویه نتایج بهتری نشان داده است.

علت احتمالی این است که هر سویه می‌تواند عملکرد متفاوتی داشته باشد.

برای مثال:

سویه اول: تولید آنزیم

سویه دوم: تولید مواد ضد میکروبی

سویه سوم: تعدیل سیستم ایمنی

سویه چهارم: بهبود کیفیت آب

این ترکیب می‌تواند اثرات مکمل ایجاد کند.

با این حال، ترکیب چند سویه همیشه به معنای اثر بهتر نیست. سویه‌ها ممکن است با یکدیگر رقابت کنند یا در شرایط خاص اثر یکدیگر را کاهش دهند؛ بنابراین فرمولاسیون باید بر اساس آزمون‌های علمی و مزرعه‌ای انجام شود.

مزایای استفاده از پروبیوتیک در مقایسه با آنتی‌بیوتیک

یکی از دلایل اصلی توجه به پروبیوتیک‌ها، مشکلات ناشی از مصرف نامناسب آنتی‌بیوتیک‌هاست.

مصرف غیرضروری یا نادرست آنتی‌بیوتیک می‌تواند باعث مقاومت باکتریایی؛ تغییر میکروبیوتای طبیعی؛ اختلال در تعادل میکروبی محیط؛ نگرانی درباره باقی‌مانده دارویی و کاهش اثربخشی درمان‌های آینده شود. در مقابل، پروبیوتیک‌ها با هدف مدیریت زیستی و پیشگیرانه عمل می‌کنند.

عوامل مؤثر بر موفقیت پروبیوتیک

اثربخشی یک پروبیوتیک به عوامل متعددی بستگی دارد.

۱-سویه

مهم‌ترین عامل، انتخاب سویه مناسب است. حتی دو سویه متعلق به یک گونه ممکن است عملکرد کاملاً متفاوتی داشته باشند.

۲- دوز مصرفی

دوز بسیار پایین ممکن است اثر کافی نداشته باشد. از طرف دیگر، افزایش بی‌رویه دوز نیز الزاماً به معنای افزایش اثر نیست.

۳- روش مصرف

مصرف خوراکی و مصرف در آب ممکن است نتایج متفاوتی ایجاد کنند.

۴- دمای آب

فعالیت و رشد میکروارگانیسم‌ها به دما وابسته است.

۵- شوری

پروبیوتیک مورد استفاده در یک سیستم آب شیرین الزاماً در آب شور یا لب‌شور عملکرد مشابهی ندارد.

pH-۷

تغییرات pH می‌تواند بر فعالیت و بقای میکروارگانیسم‌ها اثرگذار باشد.

۸- کیفیت خوراک

ترکیب خوراک و روش نگهداری می‌تواند بر زنده‌مانی و عملکرد پروبیوتیک تأثیر بگذارد.

۹- شرایط میکروبی استخر

جمعیت میکروبی موجود در هر مزرعه متفاوت است؛ بنابراین نتایج آزمایشگاهی همیشه دقیقاً در شرایط مزرعه تکرار نمی‌شوند.

مشکلات و محدودیت‌های استفاده از پروبیوتیک

اگرچه پروبیوتیک‌ها مزایای بالقوه زیادی دارند، اما استفاده از آن‌ها بدون محدودیت نیست.

تفاوت بین سویه‌ها

نمی‌توان نتیجه یک سویه را به تمام اعضای یک جنس تعمیم داد.

تفاوت شرایط محیطی

دما، شوری، pH، اکسیژن و مواد آلی می‌توانند اثر پروبیوتیک را تغییر دهند.

مشکل تعیین دوز

هنوز برای بسیاری از سویه‌ها یک دوز استاندارد و جهانی وجود ندارد.

تفاوت نتایج آزمایشگاهی و مزرعه‌ای

ممکن است یک سویه در آزمایشگاه بسیار مؤثر باشد ولی در مزرعه نتیجه ضعیف‌تری ایجاد کند.

خطر استفاده نادرست

مصرف بیش از حد یا طولانی‌مدت برخی فرآورده‌ها می‌تواند نتایج نامطلوب ایجاد کند و نباید تصور کرد که «هرچه بیشتر، بهتر» است.

ارتباط پروبیوتیک با مدیریت پایدار پرورش میگو

هدف آبی پروری مدرن تنها افزایش تولید نیست، بلکه باید تولید اقتصادی، سلامت آبی، کیفیت محصول و پایداری محیط زیست همزمان مورد توجه قرار گیرد.

پروبیوتیک‌ها می‌توانند در این رویکرد نقش داشته باشند، زیرا ممکن است به صورت همزمان:

سلامت روده ↑

هضم و جذب مواد غذایی ↑

پاسخ ایمنی ↑

فشار پاتوژن ↓

کیفیت آب ↑

بقای میگو ↑

را به همراه داشته باشند.

به همین دلیل، در مطالعات جدید پروبیوتیک‌ها به عنوان یکی از ابزارهای بالقوه برای حرکت از مدیریت شیمیایی بیماری به سمت مدیریت زیستی و پایدار مطرح شده‌اند

آینده استفاده از پروبیوتیک در صنعت میگو

آینده تحقیقات پروبیوتیک احتمالاً از استفاده ساده از «باکتری مفید» به سمت پروبیوتیک‌های هدفمند و دقیق حرکت خواهد کرد.

از جمله زمینه‌های مهم آینده عبارت‌اند از:

انتخاب سویه بر اساس میکروبیوم

به جای انتخاب تصادفی سویه، می‌توان بر اساس میکروبیوم طبیعی میگو سویه‌های مناسب را شناسایی کرد.

استفاده از روش‌های Multi-omics

ترکیب داده‌های: ژنومیک؛ متاژنومیک؛ ترانسکریپتومیک؛ متابولومیک می‌تواند به شناسایی دقیق‌تر عملکرد پروبیوتیک کمک کند.

پروبیوتیک‌های اختصاصی

احتمالاً در آینده، پروبیوتیک‌ها بر اساس گونه میگو، سیستم پرورش، شوری و حتی شرایط جغرافیایی انتخاب خواهند شد.

سین‌بیوتیک‌ها

ترکیب پروبیوتیک و پری‌بیوتیک می‌تواند یکی از مسیرهای مهم توسعه محصولات جدید باشد.

پاراپروبیوتیک‌ها

در سال‌های اخیر توجه به سلول‌های میکروبی غیرفعال یا اجزای میکروبی دارای اثر زیستی نیز افزایش یافته است. این رویکرد می‌تواند در مواردی که استفاده از میکروارگانیسم زنده محدودیت دارد، اهمیت پیدا کند.

جمع بندی

پروبیوتیک‌ها یکی از ابزارهای امیدوارکننده در پیشگیری و مدیریت بیماری‌های میگو هستند. مهم‌ترین اثر آن‌ها را نمی‌توان تنها در «از بین بردن باکتری‌های بیماری‌زا» خلاصه کرد. پروبیوتیک‌ها می‌توانند از طریق مجموعه‌ای از مکانیسم‌ها شامل رقابت با پاتوژن‌ها، تولید ترکیبات ضد میکروبی، تغییر میکروبیوتای روده، تقویت سد گوارشی، تحریک سیستم ایمنی ذاتی، بهبود هضم و کمک به مدیریت کیفیت آب باعث افزایش مقاومت میگو در برابر بیماری شوند. در بیماری‌های باکتریایی، به‌ویژه بیماری‌های مرتبط با ویبریو، شواهد علمی نسبتاً امیدوارکننده است. در مورد بیماری‌های ویروسی مانند لکه سفید نیز برخی مطالعات افزایش مقاومت، تعدیل ایمنی و کاهش بار ویروسی را گزارش کرده‌اند، اما هنوز به پژوهش‌های بیشتری برای تعیین سویه‌ها و شرایط بهینه نیاز است.

از طرف دیگر، موفقیت پروبیوتیک وابسته به انتخاب سویه، دوز، روش مصرف، شرایط آب، شوری، دما، وضعیت تغذیه، میکروبیوتای موجود و مدیریت کلی مزرعه است. بنابراین استفاده از پروبیوتیک نباید جایگزین امنیت زیستی، کیفیت مناسب بچه‌میگو، مدیریت آب، کنترل تراکم، تغذیه مناسب و پایش بیماری شود.

بهترین رویکرد این است که پروبیوتیک به‌عنوان یکی از اجزای یک برنامه جامع مدیریت سلامت میگو مورد استفاده قرار گیرد. حرکت از کنترل بیماری پس از وقوع به سمت پیشگیری، تقویت مقاومت طبیعی میگو و مدیریت میکروب محیط، می‌تواند نقش مهمی در توسعه پایدار صنعت پرورش میگو داشته باشد.

- 1-Tamilselvan, M. & Raja, S. (2024). Exploring the role and mechanism of potential probiotics in mitigating the shrimp pathogens. **Saudi Journal of Biological Sciences**, **31**, 103938. ([PubMed](#))
- 2-Muthu, C. M. et al. (2024). A comprehensive review on the utilization of probiotics in aquaculture towards sustainable shrimp farming. **Fish & Shellfish Immunology**, **147**, 109459. ([PubMed](#))
- 3-Ghosh, A. K. (2023). Functionality of probiotics on the resistance capacity of shrimp against white spot syndrome virus (WSSV). **Fish & Shellfish Immunology**, **140**, 108942. ([PubMed](#))
- 4-Modulating the gut microbiome-immune axis in shrimp: Use of probiotics to enhance disease resistance. **Aquaculture**, 2025, 743214. ([ScienceDirect](#))
- 5-Probiotic modulation of key immune macromolecules in shrimp. **Microbial Pathogenesis**, **203**, 107463, 2025. ([PubMed](#))
- 6-Probiotics, prebiotics, and synbiotics in shrimp aquaculture: Their effects on growth performance, immune responses, and gut microbiome. **Aquaculture Reports**, 2024, 102362. ([ScienceDirect](#))