زیست‌شناسی جانوری، سال شانزدهم، شماره اول، پاییز ۱۴۰۲، صفحات ۲۴۵-۲۲۵

مقاله مروری

پروبیوتیک‌ها: کیفیت آب، عملکرد رشد و ایمنی در آبزی‌پروری میگو

محمدحسین خانجانی*، سعید حاجی رضایی

گروه علوم و مهندسی شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، کرمان، ایران

*مسئول مکاتبات: m.h.khanjani@ujiroft.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۲

DOI: 10.22034/ascij.2023.1984108.1484

چکیده

با توجه به افزایش جمعیت جهان، صنعت آبزی‌پروری به عنوان یکی از صنایع تولید غذا در سال‌های اخیر رشد و توسعه یافته است. یکی از راهکارهای افزایش تولیدات آبزی‌پروری، افزایش تراکم ذخیره‌سازی و سطح زیر کشت می‌باشد. افزایش تراکم ذخیره‌سازی منجر به کاهش کیفیت آب، شیوع و گسترش عوامل بیماری‌زا می‌شود. استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها به عنوان ماده شیمیایی جهت کاهش اثر عامل بیماری‌زا در آبزی‌پروری، از طرف مصرف کنندگان چندان پذیرفته شده نیست. امروزه استفاده از پروبیوتیک‌ها جهت حفظ سلامت محیط زیست برای آبزی پرورش یافته و افزایش عملکرد تولید بدون تاثیر منفی بر مصرف کنندگان حائز اهمیت است. مطالعات بر استفاده از پروبیوتیک‌ها برای دستیابی به اهداف آبزی‌پروری پایدار سازگار با محیط زیست افزایش یافته است. از مزایای استفاده از پروبیوتیک‌ها در آبزی‌پروری میگو، بهبود کیفیت آب، کارایی بهتر خوراک، بهبود عملکرد رشد، فعالیت آنزیم‌های گوارشی، ایمنی و مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا گزارش شده است. پروبیوتیک‌ها در شرایط استرس از جمله دستکاری، رقم بندی، حمل و نقل، واکسیناسیون و درمان بیماری‌ها به میگو کمک می‌کنند. پروبیوتیک‌های که در صنعت آبزی‌پروری استفاده شده‌اند بیشتر شامل گونه‌های *باسیلوس*، *لاکتوباسیلوس*، *میکروکوکوس*، *اینتروکوکوس*، *لاکتوکوکوس*، *استرپتوکوکوس* و *کارنوباکتریوم* هستند. در مطالعه مروری حاضر، کاربرد و اهمیت پروبیوتیک‌ها در آبزی‌پروری میگو و تاثیر آن بر کیفیت آب، عملکرد رشد و ایمنی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی: آبزی‌پروری، میگو، پروبیوتیک، کیفیت آب، عملکرد رشد، ایمنی.

مقدمه

با افزایش جمعیت جهان، آبزی‌پروری به عنوان یکی از منابع تامین غذا نقش حیاتی در تامین فرصت‌های معیشتی و امنیت غذایی پایدار دارد (٦٤، ٦٥). پرورش سخت پوستان یکی از زیر شاخه‌های آبزی‌پروری است که در سال‌های اخیر توسعه یافته و حدود ۹/۲ درصد از کل تولیدات آبزی‌پروری جهانی معادل ۱۱/۲۳ میلیون تن را شامل می‌شود (۳۵). در بین سخت پوستان، بیش از ۵۰ درصد تولیدات برای میگو، بویژه میگوی سفید غربی (*Litopenaeus vannamei*) می‌باشد. بکارگیری سیستم‌ها و تجهیزاتی که بتوانند اهداف آبزی‌پروری پایدار را دنبال کنند جهت رشد و توسعه آبزی‌پروری ضروری هستند، سیستم بیوفلاک، آکوامیمیکری، آکواپونیک و مداربسته از جمله سیستم‌های هستند که به نوعی اهداف آبزی‌پروری پایدار را در بر می‌گیرند (۵۸، ٦١، ٦٢). برای بهبود تولیدات آبزی‌پروری می‌توان سطح زیر کشت و تراکم ذخیره‌سازی را افزایش داد، با توسعه آبزی‌پروری، چالش‌های نظیر کاهش کیفیت آب و گسترش عوامل بیماری‌زا و پاتوژن‌ها رخ می‌دهد. در دهه‌های اخیر انواع

آنتی‌بیوتیک‌ها جهت مدیریت بیماری‌ها و بهبود عملکرد رشد مورد استفاده قرار گرفته است، با این حال گسترش پاتوژن‌های مقاوم به آنتی بیوتیک به خوبی گزارش شده است (۱۴، ۱۱۹). همچنین خطر انتقال باکتری‌های مقاوم بیماری‌زا به محیط زندگی انسان وجود دارد، با توجه به موارد ذکر شده توسعه تحقیقات در جهت تولید مکمل‌های غذایی که تقویت کننده سلامت و رشد باشند نظیر پروبیوتیک‌ها، پری‌بیوتیک‌ها، سین‌بیوتیک‌ها، فیتوبیوتیک‌ها و سایر مکمل‌های غذایی کاربردی مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین بکارگیری سیستم‌های بسته با تعویض آب محدود بر پایه میکروارگانیسم‌ها (حاوی پروبیوتیک) نیز رواج یافته است (۳۸، ۵۹، ۶۰). در این راستا پروبیوتیک‌ها نقش حیاتی در تولید آبزی‌پروی پایدار و درمان موثر بیماری‌ها ایفا می‌کنند و ممکن است طیف وسیع و حفاظت از بیماری‌های غیراختصاصی بیشتری را فراهم کنند. پروبیوتیک‌ها در موارد مختلف کاربرد دارند، از جمله: ۱) تغذیه انسان، به عنوان مکمل های غذایی، ۲) خوراک دام، به عنوان محرک رشد و ۳) سیستم‌های آبزی‌پروری، برای افزایش رشد و مقاومت در برابر بیماری. روش‌های انتخاب باکتری‌های پروبیوتیک برای استفاده در صنعت آبزی‌پروری ممکن است شامل مراحل زیر باشد: ۱) جمع‌آوری اطلاعات اولیه، ۲) کسب پروبیوتیک‌های بالقوه، ۳) ارزیابی توانایی پروبیوتیک‌های بالقوه برای رقابت با سویه‌های بیماری‌زا (ارزیابی آزمایشگاهی)، ٤) تجزیه و تحلیل هزینه‌ها و ارزیابی اقتصادی. استفاده از پروبیوتیک در آبزی‌پروری در حال افزایش است، تولیدکنندگان تلاش می‌کنند تا کیفیت آب پرورش، عملکرد رشد، بقاء و ایمنی آبزی پرورش یافته را افزایش دهند. پروبیوتیک‌ها تحت عنوان عوامل کنترل‌کننده بیولوژیک در آبزی‌پروری شناخته می‌شوند، پروبیوتیک‌های نظیر باسیلوس‌ها میکروارگانیسم‌های غیربیماری‌زا هستند که افزودن آنها به آب پرورش یا جیره غذایی سبب بهبود کیفیت آب، کاهش سطح متابولیت‌ها، تقویت رشد، هضم و جذب، بهبود ایمنی و مقاومت در برابر پاتوژن‌ها را در آبزی پرورش یافته بوجود می‌آورد. پروبیوتیک‌ها در آبزی‌پروری تعاریف متعددی دارند. آنها تعادل میکروبی فلور روده میزبان را بهبود می‌دهند (٤٠) و همچنین برای سلامتی میزبان مفید می‌باشند. پروبیوتیک‌ها همچنین به عنوان ترکیبات فعال بیولوژیک شناخته می‌شوند که به صورت منفرد یا مخلوط در جیره غذایی با آب استفاده می‌شوند و تاثیر مثبت بر سلامت میزبان دارند (٤٠، ۷۰). در مطالعه مروری حاضر به اهمیت پروبیوتیک‌ها در بهبود کیفیت آب، عملکرد رشد، فعالیت آنزیم‌های گوارشی و ایمنی پرداخته می‌شود.

پرورش میگو

پرورش میگو در سال‌های اخیر با روند رو به رشدی مواجه بوده و در بسیاری از کشورها بویژه ایران به عنوان یک فعالیت اقتصادی و ارزآور در نظر گرفته می‌شود. در جدول ۱ جزئیات پرورش سخت پوستان در سال‌های اخیر ارائه شده است. در میان گونه‌های میگوهای پرورش یافته، میگوی سفید غربی (*L. vannamei*)، میگوی ببری سیاه (*Penaeus monodon*) و میگوی بزرگ آب شیرین (*Macrobrachium rosenbergii*) بیشترین میزان تولید را دارند (۱۲۱).

پروبیوتیک‌ها

از اوایل دهه ۱۹۷۰ استفاده از پروبیوتیک‌ها به عنوان مکمل غذایی برای آبزی پرورش یافته رایج شده است که سبب بهبود عملکرد رشد و مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا گردید (٤٠). بکارگیری پروبیوتیک‌ها در صنعت آبزی‌پروری بتدریج رواج یافت و علاوه بر کنترل عوامل بیماری‌زا و بهبود رشد، زمانی که به اندازه کافی تجویز شوند می‌توانند ترکیب میکروبی روده میزبان را تعدیل کنند، بهبود کیفیت آب، افزایش عملکرد سیستم ایمنی و افزایش میزان بقای آبزی پرورش یافته از اثرات مثبت استفاده از پروبیوتیک‌ها می‌باشد (۳۹، ۱۳۸). همچنین مشخص شده پروبیوتیک‌ها جایگزین ایمن و پایداری برای عوامل ضد میکروبی هستند (۱۳٦). بیش از ۲۰ جنس از میکروارگانیسم‌ها در آبزی‌پروری میگو جهت بررسی میزان رشد مورد مطالعه قرار گرفته است. گونه‌های باسیلوس (*Bacillus* sp.) بیش از همه و بطور گسترده استفاده شده است. در جدول ۲ برخی از مطالعات و پروبیوتیک‌های

مورد استفاده در صنعت آبزی‌پروری میگو ارائه شده است. پروبیوتیک‌ها تاثیر مطلوبی بر عملکرد پارامترهای نظیر ضریب رشد ویژه، میانگین رشد روزانه، افزایش وزن و راندمان خوراک دارند (۹۲). همچنین شواهد نشان می‌دهد پروبیوتیک‌ها به عنوان محرک های رشد ضد میکروبی شناخته می‌شوند (۱۰۸). پروبیوتیک‌ها باکتری‌های گرم مثبت و تولید کننده اسید لاکتیک هستند که باعث افزایش فعالیت آنزیمی و هضم بهتر خوراک می‌گردند. در مطالعات مختلف پروبیوتیک ایده‌آل تعریف شده است (۱۱۶، ۱۲۸، ۱۳۳). بر طبق مطالعات مختلف پروبیوتیک ایده آل خصوصیاتی دارد از قبیل، ۱) برای میزبان بعنوان عامل بیماری‌زا مطرح نباشد، ۲) پتانسیل رشد و بقاء در بدن میزبان را داشته باشد، ۳) توانایی زنده ماندن و تولید (در لوله گوارش به خاطر تولید اسیدهای معده و نمک‌های صفراوی) در شرایط نامساعد را داشته باشد، ٤) توانایی تولید آنتی‌میکروب‌های سازنده را به مقدار کافی داشته باشد تا از هجوم باکتری‌های بیماری‌زا جلوگیری کند، ٥) پاسخ ایمنی میزبان و سلامتی آن را بهبود ببخشد، ٦) به لحاظ ژنتیکی پایدار باشد، ۷) توانایی زنده ماندن در شرایط فرآوری و ذخیره‌سازی را داشته باشد، ۸) دوام و پایداری حتی در غلظت‌های بالا را داشته باشد، ۹) خصوصیات لازم ارگانولپتیک (organoleptic) جهت روش‌های تخمیر را داشته باشد. پایداری پروبیوتیک‌ها تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند گونه، بیوتیپ سویه، فعالیت آبی، دما، غلظت یون هیدروژن، فشار اسمزی، اصطکاک مکانیکی و اکسیژن است (۱۳۳). پروبیوتیک‌های گرم مثبت رایج مورد استفاده در صنعت آبزی‌پروری عبارتند از: باسیلوس، لاکتوباسیلوس، لاکتوکوک، میکروکوک، استرپتوکوک، انتروکوک، کارنو باکتریوم و گونه‌های Weissella. پروبیوتیک‌های اسپوردار نظیر گونه‌های باسیلوس (*Bacillus subtilis, Bacillus clausii, Bacillus cereus, Bacillus coagulans and Bacillus licheniformis*) نسبت به باکتری‌های غیر اسپوردار مزیت بیشتری دارند. اسپورها را می‌توان در دمای اتاق به شکل خشک شده و بدون هیچ تاثیری بر زنده ماندن نگهداری نمود، همچنین اسپورها قادر هستند در pH پایین واسید معده زنده بمانند. مزایای پروبیوتیک‌ها در آبزی‌پروری شامل: تحریک سیستم ایمنی، بهبود کارایی خوراک و کنترل بیماری می‌باشد (۸۹). مکانیسم عمل در رابطه با اثر پروبیوتیک‌ها بر میزبان بصورت، تولید ترکیبات بازدارنده، رقابت برای مواد شیمیایی یا انرژی موجود، رقابت برای جایگاه اتصال، رقابت برای مواد مغذی، بهبود کیفیت آب، بهبود فعالیت آنزیم‌های هضم و جذب، بهبود ایمنی میزبان و فعالیت‌های آنتاگونیستی (ضدباکتری، ضد ویروسی و ضد قارچی) می‌باشد (۲۹، ۸۹).

کیفیت آب

کیفیت آب پرورش یک شاخص کلیدی برای عملکرد رشد میگو می‌باشد. پارامترهای کیفیت آب مانند دما، شوری، pH، اکسیژن محلول و ترکیب شیمیایی آب از عوامل ضروری برای وضعیت سلامت میگو هستند (۱٤۰). نوسانات این متغیرها ممکن است به میگو استرس وارد کند، عملکرد فیزیولوژیکی طبیعی آنها را تغییر دهد و در نهایت بر عملکرد رشد میگو تأثیر بگذارد (۷۷، ۱٤۲). تغییرات پارامترهای محیطی آب می‌تواند جمعیت باکتری‌های موجود در آب را دچار تغییر کند، که به طور غیرمستقیم بر میکروبیوتای روده میگو هم تاثیر بگذارد (۸۹). در مطالعه Zhao و همکاران (۲۰۱۸) مشخص شد که تقریبا یک پنجم از تغییرات میکروفلور روده در میگوها تحت تاثیر کیفیت آب می‌باشد، که نشان می‌دهد کیفیت آب مستقیما بر عملکرد رشد میگو تاثیر می گذارد و افزودن پروبیوتیک‌ها به آب پرورش منجر به بهبود کیفیت آب، کنترل باکتری‌های بیماری‌زا در آب و بهبود ترکیب باکتری در آب و روده میگو می‌شود (۷۲). عملکرد پروبیوتیک‌ها در بهبود کیفت آب را می‌توان در تبدیل ترکیبات ازته، آمونیاک به نیتریت، و نیتریت به نیترات که محصول نهایی کاتابولیسم نیتروژن می‌باشد، درک کرد. گونه‌های خاصی از باکتری‌ها هستند که دارای پتانسیل شوره‌گذاری برای تبدیل آمونیاک و نیتریت به نیترات می‌باشند که سمیت کمتری برای میگو دارد (۸۲). در این رابطه، باکتری‌های گرم مثبت اغلب در مقایسه با همتایان گرم منفی خود، کارایی بهتری در مواد آلی در حال تجزیه

نشان داده‌اند (۲۴). فرآیند نیتریفیکاسیون همچنین به طور غیرمستقیم سطح pH آب را از طریق ترشح هیدروژن به عنوان محصولات جانبی بهبود می‌بخشد (۴۳). علاوه بر این، این فرآیند گردش کربن و ترکیبات نیتروژنی را تسهیل می‌کند و در دسترس بودن مواد مغذی را برای حمایت از رشد افزایش می‌دهد (۲۶).

عملکرد رشد

تاثیرگذاری پروبیوتیک‌ها بر عملکرد رشد به عوامل متعددی بستگی دارد و مکانیسم عمل آنها از سویه ای به سویه دیگر متفاوت می‌باشد (۸۸). پروبیوتیک‌ها از طریق تغییر در ترکیب میکروبیوتای روده، افزایش فعالیت‌های آنزیمی، اصلاح مورفولوژی کبد، پانکراس، روده، افزایش عملکرد ایمنی و اصلاح بیان ژن‌های مربوط به رشد می‌توانند بر عملکرد آبزی پرورش یافته تاثیر بگذارند (۳۲، ۱۴۵). تغییر ترکیب میکروبیوتای روده در جهت حضور بیشتر باکتری‌های مفید به هضم و جذب بهتر غذا کمک می‌کند (۷۴). پروبیوتیک‌ها همچنین به افزایش مقاومت حیوان در برابر استرس های محیطی از جمله استرس اکسیداتیو و آمونیاک، با بهبود کیفیت آب کمک می‌کنند. هنوز مکانیسم های اساسی که ممکن است پروبیوتیک‌ها به رشد حیوان کمک کند مشخص نشده است (۴۰). در جدول ۳ مکانیسم اثرگذاری پروبیوتیک‌ها بر عملکرد رشد میگو ارائه شده است. افزایش نسبت باکتری‌های مفید پس از مصرف پروبیوتیک‌ها به خوبی ثابت شده است (۱۸، ۷۵) برخلاف عملکرد آنتی‌بیوتیک‌ها در کاهش جمعیت باکتری‌ها و تنوع در روده (۸۶). پروبیوتیک‌ها اغلب فقط ترکیبات جمعیتی باکتری‌ها را تغییر می‌دهند. میکروبیوتای روده تحت تاثیر مصرف پروبیوتیک تنوع گونه‌ای بالاتری از باکتری‌های مفید، غنا و تنوع زیستی بالایی را نشان می‌دهد (۱۳۸). در مطالعه Liu و همکاران (۲۰۱۰)، افزودن پروبیوتیک بر جیره غذایی میگوی ژاپنی (*Marsupenaeus japonicus*) منجر به تنوع بالاتر باکتری‌های مفید روده گردید (۷۹). همچنین مطالعات نشان داده که پروبیوتیک‌ها با ایجاد میکروبیوتای سالم در روده منجر به بهبود عملکرد رشد می‌شوند (۱۲۷). هیچ الگوی میکروبیوتای مشخصی وجود ندارد که بتواند میکروبیوتای مطلوب را ارائه دهد و بخش قابل توجهی از میکروبیوتای روده ناشناخته باقی مانده است. میکروبیوتای روده یک اکوسیستم پویا و بسیار پیچیده که شامل تعامل طیف گسترده‌ای از گونه‌های باکتری می‌باشد. باکتری‌های موجود در روده تعامل متفاوتی با هم دارند برخی از سویه‌ها رشد یکدیگر را محدود و برخی دیگر رشد را تحریک می‌کنند (۸۱، ۱۴۵). ترکیب میکروبیوتای روده بیشتر تحت تاثیر عوامل خارجی نظیر تغذیه، استرس، نوسانات محیطی و مرحله رشد میگو بستگی دارد (۱۵، ۲۰). میکروبیوتای سالم بر متابولیسم، قابلیت هضم و پاسخ ایمنی میزبان تاثیر می گذارد و ارتباط نزدیکی با عملکرد رشد میگو دارد (۳۳). استفاده از مکمل‌های پروبیوتیک می‌تواند ترکیب میکروبیوتای روده را بهبود دهد و سلامت میگو و عملکرد رشد میگوهای پرورشی را افزایش دهد (۴۸). پروبیوتیک‌ها، پاتوژن‌های فرصت‌طلب را از طریق کاهش دسترسی آنها به فضا برای چسبیدن به پوشش روده، مواد مغذی و انرژی محدود می‌کنند (۱۲۹). مطالعات نشان می‌دهد که معرفی پروبیوتیک‌های باسیلوس به میزان قابل توجهی تعداد باکتری‌های بیماری‌زای ویبریو را در دستگاه گوارش میگو در مقایسه با گروه بدون پروبیوتیک کاهش می‌دهد. میزان فعالیت پاتوژن‌های نظیر *Desulfobulbus* sp و *Desulfovibrio* sp هنگامی که باکتری‌های مفیدی نظیر *Lactobacillus* sp.، *Lachnospiraceae* sp. و *Lachmoclostridium* sp. با مکمل *C. butyricum* مورد استفاده قرار گرفتند، محدود می‌شود (۳۲). ارتباط این اثر محافظتی با عملکرد رشد و میزان بقاء پس از عفونت نیز ثابت شده است (۱۲۴). پروبیوتیک‌ها عامل بیماری‌زا را محاصره و اثرگذاری آنها را کاهش و شدت عامل بیماری‌زا را از طریق تخریب سرکوب می‌کنند و بیان ژن‌های کد کننده سموم و عوامل بیماری‌زا را در میگو کاهش می‌دهند (۱۳۵). همچنین برخی از باکتری‌ها نیز ترکیبات بازدارنده-ای مانند سیدروفورها، پروتئازها، لیزوزیم‌ها، پراکسید هیدروژن، اسیدهای آلی، آنتی‌بیوتیک‌ها و باکتریوسین‌ها ترشح می‌کنند، که رشد پاتوژن‌ها را محدود می‌کنند (۲۷، ۷۲). مطالعات نشان داده استفاده از پروبیوتیک‌ها باعث

تحریک ترشح طیف وسیعی از ترکیبات زیست فعال نظیر اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه، ویتامین‌ها، پلی آمین‌ها و اگزوپلی ساکاریدها می‌شود (۵۲، ۵۴). این مولکول‌های فعال زیستی عملکرد روده را افزایش، بیوسنتز پروتئین، اسیدهای نوکلئیک و جذب مواد مغذی را بهبود می‌بخشند (۹۶). گونه‌های *باسیلوس* (۶۷)، *استرپتومایسیس* (۱۲۵)، باکتری‌های اسید لاکتیک (۲۳)، به همراه مخمر (۳۴) برخی از پروبیوتیک‌های رایج هستند که ترشح ترکیبات زیست فعال را تحریک می‌کنند. این نوع پروبیوتیک‌ها وقتی به جیره غذایی میگو افزوده می‌شوند، عملکرد رشد را بهبود، ضریب تبدیل غذایی را کاهش و کارایی خوراک را افزایش می‌دهند (۱۱۱). اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه، مولکول‌های زیست فعال مهمی هستند که از تخمیر باکتریایی تولید می‌شوند، که نقش مهمی در چندین فرآیند فیزیولوژیکی از جمله متابولیسم و دفاع ایمنی دارند (۱۳). اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه نظیر استات، بوترات، پروپیونات و نمک هایشان در روده میگو وجود دارند. تامین کننده منبع انرژی، کمک به حفظ هموستازی دستگاه گوارش، بهبود فرآیندهای ایمنی و عامل ضد التهابی بودن از عملکرد اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه می‌باشد (۴۹). پروبیوتیک‌ها، ترکیب میکروبیوتای روده میگو را تغییر می‌دهند که به دنبال آن میزان اسیدهای چرب میزبان تغییر می یابد (۶۹). اسیدهای چرب به راحتی جذب می‌شوند و منبع انرژی ضروری برای هدایت فرآیندهای سلولی مانند کموتاکسی، تکثیر سلولی و تمایز هستند (۱۳، ۲۱). از این رو، تکثیر سلول های اپیتلیال پوششی مخاط روده، افزایش اندازه سلول، ارتفاع و تعداد پرزها، به جذب بهتر مواد مغذی کمک می‌کند (۴). علاوه بر این، کاهش pH روده ناشی از اسیدهای چرب به طور قابل توجهی فعالیت آنزیم‌های آمیلاز، پپسین، تریپسین و لیپاز را در مقایسه با گروه کنترل بهبود می‌بخشد، که منجر به هضم و جذب بهتر مواد مغذی می‌شود (۳۰). در پرورش میگو، افزایش عملکرد رشد ارتباط نزدیکی با افزایش غلظت اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه نشان می‌دهد (۲۲). اسیدهای چرب به طور موثری، کارایی خوراک، میزان بازده پروتئین، نگهداری نیتروژن، قابلیت هضم، افزایش وزن، عملکرد رشد و میزان بقای میگو را بهبود می‌بخشند. نتایج مثبت آن در گونه‌های مختلف میگو از جمله *L. vannamei* (۱۱۸)، *P. monodon* (۹۴) و *M. rosenbergii* (۹۵) گزارش شده است. به عنوان مثال، بوتیرات دسترسی زیستی به چندین مشتق نوکلئوتیدی و اسیدهای آمینه ضروری را افزایش می‌دهد (۵۰). اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه، همچنین ایمنی میگو را با تنظیم بیان ژن‌های مربوط به ایمنی و تقویت اجزای ایمنی بهبود می‌دهند (۵۰). به عنوان مثال مصرف مکمل اسید پروپیونیک به مدت ۶۰ روز در بیان پروفنولاکسیداز، crustin، penaeidin-3a و لیزوزیم را در هپاتوپانکراس میگوی سفید غربی افزایش داد (۹۹). گنجاندن ۲ درصد اسیدآلی به جیره غذایی میگو به طور قابل توجهی میزان بقاء را پس از چالش با باکتری *Vibrio harveyi* افزایش داد و آسیب کمتری به هپاتوپانکراس وارد شد و فعالیت بالاتری از پروفنولاکسیداز را نشان داد (۱۰۷). بدون شک، اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه یکی از بسترهای حیاتی است که بر میزان بقاء و عملکرد رشد میگو تأثیر می‌گذارد. اثر محرک رشد پروبیوتیک‌ها را می‌توان از طریق این مولکول‌های زیست فعال توضیح داد زیرا ثابت شده است که گنجاندن پروبیوتیک به طور مثبت غلظت اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه را در روده افزایش می‌دهد (۱۶، ۱۰۳). بنابراین، باکتری‌های تولید کننده اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه را می‌توان برای افزایش رشد و بقای میگوها استفاده کرد. نوع دیگری از ترکیبات ضروری که توسط پروبیوتیک‌ها تولید می‌شود ویتامین‌ها هستند. به عنوان مثال باکتری پروبیوتیک *C. butyricum* می‌تواند بطور مستقیم ویتامین B را در لوله گوارش تولید کند (۳۱). ویتامین‌ها گروه‌هایی از ترکیبات ناهمگن هستند که برای رشد و سلامتی میگو بسیار مهم هستند، برخلاف منابع اصلی مواد مغذی مانند پروتئین‌ها، لیپیدها یا کربوهیدرات‌ها، ویتامین‌ها فقط به مقدار کمی مورد نیاز می‌باشند. ویتامین‌ها مواد ریز مغذی ضروری برای بهبود رشد و بقای میگو هستند. نیاز میگوها به ویتامین تحت تاثیر عوامل متعددی از جمله گونه، سیستم کشت، سرعت رشد، شرایط فیزیولوژیکی، ترکیب مواد مغذی و رفتار تعذیه ای قرار دارد (۹۱، ۱۲۲). در دسترس بودن ویتامین

ارتباط نزدیکی با عملکرد رشد میگو دارد، به عنوان مثال، ویتامین B یک ویتامین مهم در متابولیسم و مکانیسم های آنتی اکسیدانی است (۲۵). ویتامین C یک آنتی اکسیدانت قوی است که منجر به تقویت پارامترهای ایمنی و خونی در میگو می‌شود (۱۰). ویتامین E یک آنتی اکسیدانت قوی است که نقش حفاظتی را برعهده دارد (٤٦). ویتامین‌ها مواد ریز مغذی ضروری برای بهبود رشد و بقای میگو هستند. از آنجایی که ویتامین‌ها جزو خروجی‌های ارزشمند پروبیوتیک‌ها هستند (۵۳)، گنجاندن سویه‌های پروبیوتیکی در جیره غذایی که قادر به سنتز ویتامین‌های ضروری هستند، جهت تقویت رشد و سلامت آبزی پرورش یافته مناسب می‌باشد (٦). علاوه بر این، استفاده از پروبیوتیک می‌تواند خوراک آبزی پرورش یافته را در محل تخمیر کند و آن را با ویتامین‌های ضروری غنی کند. تاثیرات ویتامینی پروبیوتیک‌ها در سیستم‌های پرورش، استفاده از خوراک را بطور قابل ملاحظه ای کاهش می‌دهد بدون اینکه میزان بقاء و عملکرد رشد میگو به خطر بیفتد (۹۱). با اذعان به ظرفیت سنتز ویتامین از باکتری‌های دستگاه گوارش به عنوان یک عامل تعیین کننده برای دسترسی زیستی ویتامین‌ها (۱۲۲)، پروبیوتیک‌ها می‌توانند به عنوان منبع مکمل ویتامین‌ها برای رشد بهینه آبزی پرورش یافته تلقی شوند. ثابت شده است که سویه‌های پروبیوتیکی نظیر گونه‌های لاکتوباسیلوس، بیفیدوباکتریوم و پروپیونی باکتریوم می‌توانند به طور قابل توجهی تولید ویتامین‌ها را افزایش دهند (۸۷، ۱۰۹). این مولکول‌های فعال زیستی به‌عنوان فاکتورهای رشد برای جامعه میکروبی روده عمل می‌کنند و زمانی که میگوها ویتامین‌های برون‌زای آزاد شده توسط میکروب‌ها را جذب می‌کنند، تأثیر متقابلی را برای میزبان ایجاد می‌کنند. از این نظر، ممکن است منطقی باشد که اثر محرک رشد پروبیوتیک‌ها را به ایجاد یک محیط گوارشی مساعد مرتبط کنیم که به عملکرد مناسب همه فعالیت‌های متابولیک از طریق تولید ویتامین‌ها و سایر مولکول‌های مهم فعال زیستی کمک می‌کند (٥٤). با داشتن دانش لازم در مهندسی زیستی می‌توان پروبیوتیک‌های ایده آل که قابلیت سنتز ویتامین‌ها را دارند، غربالگری و به مزارع پرورش میگو معرفی کرد تا عملکرد رشد و سلامت میگو را افزایش داد. در رابطه با اثرگذاری پروبیوتیک‌ها بر عملکرد رشد می‌توان نتیجه‌گیری کرد که، باکتری‌های پروبیوتیک ابزاری حیاتی برای بهبود عملکرد رشد هستند، که به عنوان منبعی از مواد مغذی، ویتامین‌ها و فعال کننده دستگاه گوارش (آنزیم‌هایی که تأثیر مثبتی بر مصرف خوراک دارند) عمل می‌کند (۹، ۹۳).

فعالیت آنزیم‌های گوارشی

بهبود فعالیت آنزیم‌های گوارشی یکی دیگر از اثرات مفید استفاده از پروبیوتیک‌ها می‌باشد. در مطالعه Fernandes و همکاران ۲۰۱۹، مشخص شد که پروبیوتیک‌ها فعالیت کل آنزیمی را در لوله گوارش میگوی سفید غربی افزایش می‌دهند، بطوری که در پایان ۱۰۲ روز پرورش میگو فعالیت آنزیم‌های لیپاز ۵۸ درصد، پروتئاز ٤۹ درصد و آمیلاز تا ۳٤ درصد در میگوهای تغذیه شده با پروبیوتیک نسبت به گروه کنترل افزایش نشان داد (۳٦). طبق تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون ارتباط مثبت قوی بین فعالیت آنزیمی و محصول نهایی میگو در هنگام استفاده از پروبیوتیک باسیلوس وجود دارد (۱٤۳). در مطالعه Gamboa-delgado و همکاران ۲۰۰۳ مشخص شد که در حضور پروبیوتیک باسیلوس فعالیت آنزیم‌های گوارشی لیپاز و کیموتریپسین افزایش و منجر به افزایش وزن میگو در مقایسه با گروه کنترل می‌شود (۳۷). دامنه فعالیت آنزیمی بین پروبیوتیک‌ها حتی در میان سویه‌های یک جنس متفاوت است، به عنوان مثال در میان سه سویه Actinomycete توانایی تجزیه بسیاری از مولکول‌ها، مانند لیپیدها، پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها متفاوت است (۱۲). همچنین مشخص شده است که پروبیوتیک‌های تجاری فعالیت آنزیم سلولاز را به میزان قابل توجهی تا ۳۰ درصد افزایش می‌دهد (۳٦). علاوه بر این، توجه به این نکته ضروری است که دوز و مدت استفاده از مکمل پروبیوتیک نیز ممکن است بر نتایج تأثیر بگذارد (٤٤). گونه‌های باسیلوس (۱٤۳، ۱٤٤)، اینتروباکتر (۱٤٥)، لاکتوباسیلوس (۱٤٥) و پدیوکوکوس (۱) از جمله پروبیوتیک‌های هستند که فعالیت آنزیم‌های گوارشی (لیپاز، آمیلاز، پروتئاز) را در میگوها افزایش می‌دهند.

پروبیوتیک‌ها بویژه گونه‌های باسیلوس و مخمر توانایی بالایی در سنتز آنزیم‌های خارج سلولی مانند آمیلاز، سلولاز، کیتیناز، لیپاز، فیتاز و پروتئاز دارند (۹۶، ۱۱۵). آنزیم‌های خارج سلولی مکمل شده با پروبیوتیک‌ها ممکن است در محدوده وسیع‌تری از pH و شوری عملکرد مطلوبی داشته باشند، که در نتیجه طولانی شدن دوره هضم آنزیمی هیدرولیز سوبستراها کاراتر می‌شود. میگو ظرفیت محدودی برای هضم برخی از کربوهیدرات‌های پیچیده نظیر نشاسته بدلیل کمبود آنزیم‌های خاص نظیر آلفا ۱ و ٦ گلوکوزیداز دارد. با افزودن پروبیوتیک‌ها به جیره غذایی می‌توان هضم مواد مغذی غیرقابل هضم را تسهیل نمود (٤٠). ظرفیت چندین سویه باسیلوس در تولید آلفا ۱و٤ گلوکوزیداز، آلفا ۱و٦ گلوکوزیداز و آلفا گالاکتوزیداز از طریق سنجش کمی با استفاده از سوبستراهایی مانند آمیلوز، آمیلوپکتین، ملیبیوز و رافینوز گزارش شده است (۹۷). استفاده از پروبیوتیک *Lactobacillus casei* در تغذیه میگو، ترشح آنزیم خارج سلولی اینولیناز را تحریک می‌کند. اینولیناز با هیدرولیز پیوندهای بتا ۱ و ۲ گلیکوزیدی از پری بیوتیک اینولین در لوله گوارش برای آزاد کردن فروکتوالیگوساکاریدهای کوچک یا فروکتوز که می‌تواند به منبع انرژی برای میزبان باشد، عمل می‌کند (۷۳). در مطالعه Shiau و Peng (۱۹۹۲) کربوهیدرات‌های پیچیده نظیر نشاسته گزینه غذایی بهتری برای میگوی مونودون بود، بطوری که نتایج کارایی خوراک و پروتئین بالاتر، افزایش وزن و ضریب بقای بهتر در مقایسه با گروهی که با کربوهیدرات‌های ساده نظیر گلوکز تغذیه شده بودند، نشان داد (۱۱۷). از منظر دیگر، آنزیم‌های مشتق شده از پروبیوتیک‌ها می‌توانند باعث تخریب عوامل ضد تغذیه ای خوراک شوند، که در نتیجه پذیرش میگو را نسبت به پروتئین‌های گیاهی جایگزین شده با پودر ماهی را افزایش می‌دهند. این خاصیت مهمی است که در هنگام استفاده از ذرت، سویا و گندم به دلیل قیمت‌های پایین‌تر و آسانی در دسترس، به طور قابل توجهی باید لحاظ شود (۱۲۰). پروبیوتیک‌ها با ترشح آنزیم‌های نظیر سلولاز، گالاکتوزیداز، گلوکوزیداز، گلیکوزیداز و پکتینازها به طور قابل توجهی انرژی دریافتی از جیره‌های غذایی گیاهی را بهبود می‌بخشد (۹۸). همچنین قابلیت هضم و کارایی استفاده از خوراک افزایش می یابد. به عنوان مثال، حضور لاکتوباسیلوس و انتروباکتر مکمل در جیره غذایی منجر به توانایی بیشتر استفاده از کربوهیدرات در میگوی سفید غربی شد (١٤٥). علاوه بر این، با افزایش فعالیت آنزیم‌های گوارشی در روده میگو توسط پروبیوتیک‌ها قابلیت هضم مواد مغذی بهبود می یابد. مولکول‌های پیچیده غذا را به اشکال کوچکتر و قابل هضم تر تبدیل می‌کنند، به عنوان مثال فعالیت آنزیم پروتئاز پروتئین را به اسیدهای آمینه آزاد تبدیل می‌کند که به راحتی قابلیت جذب را دارد. سطوح بالاتری از اسیدهای آمینه آلانین، آرژنین، ایزولوسین و پرولین در میگوی بزرگ آب شیرین در هنگام تغذیه با پروبیوتیک در مقایسه با گروه کنترل بدست آمد، همچنین سطح پروتئین خام بالاتری در میگوی ژاپنی در هنگام تغذیه با پروبیوتیک *C. butyricum* مشاهده شد (۳۲). هر دو اسیدهای آمینه ضروری (آرژنین، هیستیدین، ایزولوسین، لوسین، لیزین، ترئونین و تیروزین) و اسیدهای آمینه غیر ضروری (آلانین، گلوتامین، گلیسین، پرولین و سرین) برای رشد آبزی پرورش یافته ضروری و برای سنتز پروتئین‌های جدید نیاز هستند (١١٤). ترکیب پروتئین، آمینواسید، لیپید، کربوهیدرات و خاکستر بطور معنی‌داری در میگوی بزرگ آب شیرین در تیمارهای تغذیه شده با ۲ درصد پروبیوتیک (*Lactobacillus sporogenes* و *S. cerevisiae*) بالاتر نشان داد (۱۱۳). علاوه بر این، چندین مطالعه نشان داد که استفاده از پروبیوتیک می‌تواند به طور موثر نسبت کارایی پروتئین را افزایش داده و ضریب تبدیل غذایی را کاهش دهد (۱۱۲، ۱۱۳). بطور غیر مستقیم با افزایش فعالیت آنزیمی، پروبیوتیک‌ها عملکرد متابولیک میگو را تحت تأثیر قرار می‌دهند که این امر به عملکرد رشد بهتر نسبت داده می‌شود. فعالیت آنزیمی برون زا پروبیوتیک‌ها می‌تواند به عنوان شاخص ارزشمندی برای قابلیت هضم مواد مغذی، استفاده از خوراک و عملکرد رشد میگوها عمل نماید (١٠٤).

عملکرد ایمنی

تقویت عملکرد ایمنی تأثیر بسزایی بر سلامت و رشد آبزی پرورش یافته دارد (٦٦)، پروبیوتیک‌ها طیف منحصر به فردی از اثرات تعدیل کننده ایمنی را نشان می‌دهند، خواصی که در درمان های آنتی بیوتیکی دیده نمی‌شود. در سال‌های اخیر، پروبیوتیک‌ها به دلیل بهبود اثرات محرک ایمنی و خواص کاهش استرس در حیوانات آبزی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (٤، ٢٨). پروبیوتیک‌ها جایگزین مناسبی برای آنتی‌بیوتیک‌ها در برابر بیماری‌های عفونی در پرورش میگو هستند. مشابه مفهوم واکسیناسیون، پروبیوتیک‌ها می‌توانند به عنوان محرک ایمنی برای تقویت سیستم ایمنی و مقاومت آنها در برابر بیماری‌های عفونی و عوامل استرس زای محیطی عمل کنند. افزودن پروبیوتیک به جیره غذایی میگو منجر به بهبود پاسخ ایمنی می‌گردد که در واقع بین سلول‌های باکتریایی و سلول‌های اپیتلیال روده میزبان خاصیت ایمنی و سد کنندگی قوی‌تری شکل می‌گیرد (٨٠). استفاده خوراکی از پروبیوتیک‌ها در آبزی‌پروری منجر به بهبود سیستم ایمنی (سلولی و همورال) می‌گردد. فعال‌ترین اجزای ایمنی شامل لیزوزیم، پراکسیداز و افزایش سطح لنفوسیت‌ها و گرانولوسیت‌ها می‌باشد (٢٨). پروبیوتیک‌ها مولکول‌های موثری تولید می‌کنند که دارای خاصیت باکتری‌کشی است و بر روی باکتری‌های بیماری‌زا روده میزبان موثر بوده و همچنین مانعی در برابر تکثیر عوامل بیماری‌زا فرصت طلب ایجاد می‌کنند. فعالیت‌های موثر در طول فعالیت باکتری کشی شامل تولید آنتی‌بیوتیک‌ها، باکتریوسین‌ها، سیدروفورها، آنزیم‌ها (لیزوزیم‌ها، پروتئازها)، پراکسید هیدروژن و همچنین تغییر pH روده به دلیل تولید اسیدهای آلی می‌باشد (٢٨). بنابراین، می‌توان بیان کرد که توانایی آبزیان برای جلوگیری از بیماری‌های عفونی به طور عمده به اثر تعدیل کننده ایمنی که به دلیل تجویز پروبیوتیک‌ها اتفاق می‌افتد، بستگی دارد. در آبزی‌پروری میگو، سویه‌های پروبیوتیک *B. cereus*، *Paenibacillus polymyxa* و *Pseudomonas* sp تحمل میگو را در برابر عفونت با عوامل بیماری‌زا ویبریو بهبود می‌دهند. در تغذیه میگوهای *L. vannamei* و *Penaeus japonicas* با جیره‌های حاوی پروبیوتیک‌های *Pediococcus pentosaceus* ، *L. plantarum* و *Biifidobacterium thermophilium* بهبود سیستم ایمنی و مقاومت در برابر بیماری‌ها اتفاق افتاد (١). اجزای سطح سلول از باکتری‌های پروبیوتیک، نظیر پپتیدوگلوکان، لیپوپلی‌ساکاریدها، lipoteichoic acid و گلوکان‌ها به عنوان محرک‌های ایمنی و شکل پیچیده با پروتئین‌های شناسایی الگویی در میزبان عمل می‌کنند، ١١ نوع پروتئین شناسایی الگوی در میگوها شناسایی شده است (٦٢، ٦٣، ١٣٥). تشکیل کمپلکس الگوی مولکولی مرتبط با پاتوژن و پروتئین شناسایی الگویی یک رویداد کلیدی برای فعال کردن پاسخ سیستم ایمنی است که منجر به تنظیم بیان ژن ایمنی و در نتیجه بهبود عملکرد ایمنی می‌شود (٥٥). این مکانیسم به حیوان کمک می‌کند تا در بهترین حالت دفاعی ظاهر شود، بنابراین، پس از تهاجم پاتوژن، حیوان می‌تواند دفاعی فوری در جهت پاکسازی پاتوژن ایجاد کند (١٠٢). میگوها فاقد سیستم ایمنی تطبیقی هستند و ایمنی در آنها وابستگی شدید به پاسخ ایمنی ذاتی دارد، که نقشی اساسی در پیش برد مکانیسم دفاعی ایفا می‌کند (١١٠). برخی از فرم‌های حافظه ایمنی در میگو وجود دارد، استدلال‌های از قبیل پرایمینگ ایمنی، پاسخ شبه ایمنی و ایمنی آموزش دیده حافظه ایمنی در میگو را تقویت می‌کند (٧١). سیستم پروفنول اکسیداز یکی از مشخص‌ترین مکانیسم‌های دفاعی بندپایان است، با آزاد سازی پروفنول در طی فرآیندهای مشخص بطور فعال چندین مسیر واکنش حیاتی از جمله سنتز ملنین، آزادسازی واکنش‌دهنده سیتوتوکسیک، فاگوسیتوز، کپسولاسیون و تشکیل ندول را واسطه می‌کند (٨). به طور قابل توجه، بیان پروتئاز سرین، پراکسینکتین و پروفنول اکسیداز در میگوهای تغذیه شده با پروبیوتیک‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر از گروه کنترل و گروه تحت درمان با اکسی تتراسایکلین نشان داد (١٣٧). لیزوزیم یک عامل ضد باکتری موثر که با ایجاد اختلال در پپتیدوگلوکان و ایجاد فشار اسمزی پاتوژن‌های مهاجم را از بین می‌برد، مطالعات نشان داده که با تغذیه از پروبیوتیک فعالیت لیزوزیم بطور قابل توجهی افزایش می‌یابد (٣١، ١٣٧). علاوه بر این، پروبیوتیک‌هایی مانند *Bacillus* sp. نشان داده‌اند که

فعالیت‌های فاگوسیتی را در گونه‌های مختلف میگو، مانند *P. monodon* (۵۵) و *L. vannamei* (۱۰۵) افزایش می‌دهند. پروبیوتیک‌های محرک ایمنی به طور معنی‌داری میزان مرگ و میر میگوها را هنگامی که در مواجهه با پاتوژن‌های نظیر *A. Hydrophila* (۵۶)، *V. parahaemolyticus* (۱۹) *V. harveyi*، (۸۱) *Vibrio alginolyticus*، (۱۳۹) *Pseudomonas aeruginosa* (۴۷)، ویروس سرم White spot (۱۴۵) قرار می‌گیرند، کاهش می‌دهند. به طور کلی، اثر تقویت کنندگی ایمنی پروبیوتیک‌ها به وضوح مشخص شده است. با این حال، اختلاف در نتایج مطالعات مختلف وجود دارد که احتمالاً به تفاوت در طرح‌های مطالعه، سویه‌های پروبیوتیک، دوز، مدت درمان، گونه‌های میگو، فاز رشد و عوامل محیطی بستگی دارد (۷). افزایش مقاومت در برابر بیماری برای تضمین رشد مطلوب حیاتی است زیرا میگوهای مبتلا به بیماری معمولاً علائمی مانند بافت‌های بسیار نکروزه، عدم تحرک، بی‌اشتهایی و رشد ضعیف را نشان می‌دهند (۱۷). هنگام طراحی پروبیوتیک‌ها به عنوان محرک ایمنی، باید به دقت توجه شود که فعال شدن بیش از حد پاسخ ایمنی نیز ممکن است تاثیر مخالف داشته باشد (۱۳۱). تحریک بیش از حد سیستم ایمنی باعث عواقب زیانباری مانند تولید بی‌رویه عوامل ایمنی می‌شود که منجر به کاهش اجزای ایمنی و در نهایت سرکوب سیستم ایمنی می‌شود. با وجود پیچیدگی سیستم ایمنی، پروبیوتیک‌ها می‌توانند در صورت استفاده مناسب به عنوان وسیله‌ای موثر برای افزایش عملکرد رشد مورد استفاده قرار گیرند.

چشم انداز آینده

آبزی‌پروری به عنوان یکی از سریع‌ترین صنایع در حال رشد در سراسر جهان، بیمه گر کلیدی برای امنیت غذایی جهانی است (۱۰۰). علاوه بر رسیدگی به بحران امنیت غذایی، عرضه ثابت محصولات آبزی‌پروری در نهایت به چشم‌انداز اقتصادی امیدوارکننده‌ای برای صنعت آبزی‌پروری جهانی ختم خواهد شد. راهبردهای خلاقانه برای تشدید تولید آبزی‌پروری برای پاسخگویی به تقاضای جهانی به کار گرفته شده است. با این حال، مقاومت ضد میکروبی در آبزیان پرورش یافته، منجر به ضرورت یافتن جایگزینی مناسب جهت بهبود عملکرد رشد آبزی و مقاومت در برابر بیماری‌ها شده است. استفاده از پروبیوتیک‌ها به عنوان جایگزین مناسب در سال‌های اخیر مطرح می‌باشد. از آنجایی که عامل وراثت پذیری می‌تواند ۲۴ تا ۵۲ درصد از صفات رشد را تشکیل دهد، بنابراین، مکمل‌های پروبیوتیک می‌تواند نقش موثری در عملکرد رشد ایفا کنند (۷۶). گسترش دانش در مورد میکروبیوم روده و تعامل آن با فیزیولوژی میزبان، کاربرد استفاده از پروبیوتیک‌ها در آبزی‌پروری را افزایش خواهد داد. تسلط بر میکروبیوم‌های روده راه را برای تلاش های تحقیقاتی پیچیده تر هموار می‌کند. پروبیوتیک‌ها می‌توانند به طور موثر به عنوان محرک رشد در آبزیان بکارگیری شوند. کشف مکانیسم‌های اثر ارتقای رشد پروبیوتیک‌ها به روشن شدن معیارهای انتخاب هنگام بکارگیری سویه‌های احتمالی به عنوان محرک رشد کمک می‌کند. به عبارت دیگر، عوامل محرک رشد می‌تواند مبنایی برای انتخاب سویه پروبیوتیک باشد. نوع تاثیر پروبیوتیک را می‌توان بر میکروبیوتای روده، ایمنی، بافت‌شناسی روده میانی، فعالیت‌های آنزیم‌های گوارشی و بیان ژن‌های مرتبط با رشد بررسی کرد (۶۸). با ارزیابی عملکرد سویه باکتری پروبیوتیک می‌توان پروبیوتیک موثر را انتخاب کرد، در حال حاضر پروبیوتیک‌های پرکاربرد در آبزی‌پروری شامل *Firmicutes*، *Bacteroidetes*، *Proteobacteria*، *Actinobacteria*، باکتری فتوسنتزی غیر گوگردی دریایی، باکتری‌های شوره گذار و و سایر باکتری‌ها از منابع مختلف نیز کاندیدهای بالقوه‌ای برای کاربرد در آبزی‌پروری هستند که در انتظار کاوش‌های زیستی بیشتر هستند (۵۱).

جدول ۱- میزان تولید گونه‌های مهم سخت پوستان (۳۵)

گونه	۲۰۰۰	۲۰۰۵	۲۰۱۰	۲۰۱۵	۲۰۲۰	درصد از کل ۲۰۲۰
	بر حسب هزارتن، وزن زنده					
میگوی سفید غربی *Penaeus vannamei*	۱۵٤/۵	۱٦۷۸/٤	۲٦٤۸/۵	۳۸۰۳/٦	۵۸۱۲/۲	۵۱/۷
خرچنگ باتلاقی قرمز *Procambarus clarkii*	۹/۹	۱۱٤/۳	۵۹۹/۳	۷۲۳/۱	۲٤٦۹/۰	۲۲
خرچنگ چینی *Eriocheir sinensis*	۲۰۲/۵	۳۷۸/٤	۵۷۲/٤	۷٤۷/٤	۷۷۵/۹	٦/۹
میگوی ببری *Penaeus monodon*	٦۳۱/۰	٦٦۵/۵	۵٦۲/۹	۷۳۵/۲	۷۱۷/۱	٦/٤
میگوی بزرگ آب شیرین *Macrobrachium rosenbergii*	۱۳۰/۷	۱۹۵/۹	۱۹۳/۱	۲۰۲/۵	۲۹٤/۰	۲/٦
خرچنگ سیاه *Scylla serrata*	۱۰/۷	۱۱/۷	۳۷/۰	۸۳/٦	۲٤۸/۸	۲/۲
میگوی شرقی آب شیرین *Macrobrachium nipponense*	۸۷/۱	۱۷۷/۳	۲۱۷/۷	۲٤۰/٦	۲۲۸/۸	۲
خرچنگ سبز *Scylla paramamosain*	۰/۰	۹۷/۵	۱۱۲/٤	۱۳۵/۱	۱۵۹/٤	۱/٤
گونه‌های دیگر	٤٦۷/۰	٤٦۲/۱	۵۳۸/۵	٤٤۷/۹	۵۳۱/۸	٤/۷
کل	۱٦۹۳/٤	۳۷۸۱/۰	۵٤۸۱/۸	۷۱۱۸/۹	۱۱۲۳۷/۰	۱۰۰

جدول ۲- استفاده از پروبیوتیک‌ها در صنعت آبزی‌پروری میگو

گونه میگو	نوع پروبیوتیک	نحوی استفاده	مقدار استفاده شده	عملکرد	منبع
P. chinensis	*Arthrobacter* sp.(XE-)	افزودن به آب پرورش	10^{6}cfu mL^{-1}	مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا، *Vibrio* sp, *V. parahaemolyticus*.	۷۵
P. monodon	*Bacillus* sp. (S11)	مخلوط با غذا	10^{2}cfu بر گرم خوراک	بهبود پاسخ های ایمنی و مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا *V. harveyi*	۱۰٦
P. monodon	*Bacillus* sp. (S11)	مخلوط با غذا	10^{10}cfu بر گرم خوراک	مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا *V. harveyi*	۸٤
L. vannamei	*Bacillus* sp. (P64)	افزودن به آب پرورش	10^{7}cfu mL^{-1}	مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا *V. harveyi*	٤۱
L. vannamei	*Bacillus* sp.	افزودن به آب پرورش	10^{4} – 10^{5} cfu mL^{-1}	عملکرد بهتر رشد و بقای بالاتر	۹۰
P. monodon	*Bacillus* sp.	افزودن به آب پرورش		بهبود جمعیت باکتریایی مفید و حالت سلامتی میگو	۲٤
P. vannamei	*Bacillus* sp., *Saccharomyces* sp	افزودن به آب پرورش	10^{5} – 10^{8} cfu mL^{-1}	بهبود کیفیت آب	۸۳
P. vannamei	*Bacillus* sp., *Nitrobacter* sp., *Nitrosomonas* sp.	افزودن به آب پرورش	10^{8}cfu mL^{-1}	بهبود کیفیت آب	۸۳
P. vannamei	*Bacillus* sp., *S. cerevisiae*,	افزودن به آب	10^{4} – 10^{9} cfu mL^{-1}	بهبود کیفیت آب و کنترل جمعیت	۱۳۲

	Nitrosomonas sp., *Nitrobacter* sp.	پرورش		باکتریایی	
F. indicus	Spore of *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. polymyxa*, *B. laterosporus*, *B. circulans*	افزودن به آب و غذا	10^{6} – 10^{7} cfu mL^{-1}	بهبود هضم و جذب	۱۴۳
P. monodon	*B. pumilus*, *B. sphaericus*, *B. subtilis*	افزودن به غذا	10^{10} – 10^{11}cfu بر گرم خوراک	بهبود پاسخ های ایمنی، محرک ایمنی و مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا *V. harveyi*	۱۰۱
F. indicus	*Lactobacillus bulgaricus* (NCIM 2056, NCIM 2057)	افزودن به غذا	10^{6} cfu بر گرم خوراک	مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا *V. alginolyticus*	۳
F. indicus	*L. acidophilus* (NCIM 2285)	افزودن به غذا	10^{6} cfu بر گرم خوراک	مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا *V. alginolyticus*	۳
P. monodon	*Pseudomonas* sp. (PS-102)	افزودن به آب و تزریق عظلانی	10^{5} – 10^{8} cfu mL^{-1}	مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا Vibrio sp.	۱۳۰
P. monodon	*Pseudomonas* sp. (PM 11)	افزودن به آب پرورش	10^{3}cfu mL^{-1}	محرک ایمنی	۵
F. indicus	*Streptococcus cremoris*	افزودن به غذا	10^{6} cfu بر گرم خوراک	مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا *V. alginolyticus*	۳
L. vannamei	*Vibrio* sp. (P62, P63)	افزودن به آب پرورش	10^{7}cfu mL^{-1}	مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا *V. harveyi*	۴۱
P. monodon	*V. fluvialis* (PM 17)	افزودن به غذا و آب (۱۰ دقیقه)	10^{3}cfu mL^{-1}	محرک ایمنی	۵
L. vannamei	*Aeromonas bivalvium*	افزودن به غذا	10^{7} cfu بر گرم خوراک	بهبود عملکرد رشد، تقویت سیستم ایمنی	۴۲
L. vannamei	*Bacillus amyloliquefaciens*	افزودن به آب پرورش	10^{9}cfu mL^{-1}	بهبود کیفیت آب و عملکرد رشد	۳۶
L. vannamei	*Bacillus* cereus	افزودن به آب پرورش	10^{6}cfu mL^{-1}	بهبود کیفیت آب و عملکرد رشد، فلور باکتریایی روده	۵۷
L. vannamei	*Bacillus* megaterium	افزودن به آب پرورش	۲ میلی لیتر بر ۱۰ لیتر آب	بهبود بقاء و عملکرد رشد	۱۱
P. monodon	*Bacillus* megaterium	افزودن به آب پرورش	10^{9}cfu mL^{-1} ۱۰ میلی لیتر بر ۹۰ لیتر آب	بهبود عملکرد رشد و کیفیت آب	۲
L. vannamei	*Bacillus* subtilis	افزودن به غذا	10^{4} – 10^{12} cfu بر کیلو گرم غذا	بهبود عملکرد رشد و قابلیت هضم و جذب	۱۲۶
L. vannamei	*Clostridium butyricum*	افزودن به غذا	10^{8} – 10^{14}cfu بر گرم خوراک	محرک رشد، ایمنی و مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا	۷۸
L. vannamei	*Clostridium butyricum*	افزودن به غذا	10^{8} – 10^{14}cfu بر گرم خوراک	محرک رشد و سیستم ایمنی	۱۲۳
L. vannamei	*Halomonas* sp	افزودن به آب پرورش	10^{7}cfu mL^{-1}	بهبود عملکرد رشد	۴۵
M. rosenbergii	*Pediococcus acidilactici* *Saccharomyces cerevisiae*	افزودن به غذا	10^{8}cfu بر گرم خوراک	محرک رشد، ایمنی و مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا	۸۵

جدول ۳: مکانیسم اثرگذاری پروبیوتیک در بهبود عملکرد رشد میگو (۴۰).

مکانیسم اثرگذاری بر عملکرد رشد	افزودن پروبیوتیک
میکروبیوتای روده	افزایش تنوع میکروبیوتای روده
	افزایش نسبت باکتری‌های مفید به باکتری‌های بیماری‌زا بدون تغییر قابل توجه در فراوانی باکتری‌های روده
	ایجاد میکروبیوتای سالم و کارآمد در روده
فعالیت آنزیمی	بهبود فعالیت‌های آنزیمی
	بهبود هضم مواد مغذی
مورفولوژی دستگاه گوارش	افزایش تعداد سلول های B در هپاتوپانکراس
	کاهش میزان آتروفی و نکروز در هپاتوپانکراس و روده میانی (در هنگام عفونت)
	افزایش یکپارچگی اپیتلیال
	افزایش اندازه سلول اپیتلیال
	افزایش تعداد پرزها و سطح داخلی روده
سیستم ایمنی	تقویت سیستم ایمنی
	تقویت مکانیسم حفاظتی
	افزایش ظرفیت بازدارندگی در برابر عوامل بیماری‌زا

نتیجه‌گیری

معرفی پروبیوتیک‌ها چشم‌انداز جدیدی را برای بهبود عملکرد رشد میگو و مهار بیماری‌های عفونی در صنعت آبزی‌پروری باز می‌کند. مطالعات نشان داده‌اند که تاثیر پروبیوتیک‌ها بر بهبود عملکرد رشد و میزان بقای میگوها مثبت می‌باشد. پروبیوتیک‌های مختلف از طریق مکانیسم‌های متمایز باعث بهبود عملکرد رشد میگوها می‌شوند. قابل توجه ترین تغییرات ناشی از پروبیوتیک‌ها در میکروبیوتای روده منعکس می‌شود. استفاده از پروبیوتیک‌ها به افزایش تنوع جمعیت میکروبیوتا و سرکوب سویه‌های بیماری‌زا کمک می‌کند. این ترکیبات همچنین با کمک به ایجاد میکروبیوتای روده سالم و کارآمد، به بهبود عملکرد رشد کمک می‌کنند. ترشح ترکیبات زیست فعال و کمک به تولید آنزیم‌های برون زا و درون زا از ویژگی های دیگر پروبیوتیک‌ها می‌باشد. همچنین می‌توانند به عنوان محرک‌های ایمنی عمل کنند که سیستم ایمنی را در حیوانات تقویت کرده و مقاومت بهتری در برابر بیماری‌های عفونی ایجاد می‌کنند. کاهش خطر بیماری به حفظ انرژی برای رشد کمک می‌کند. علاوه بر این، افزودن پروبیوتیک به جیره غذایی منجر به افزایش مصرف خوراک و کارایی بهتر خوراک می‌شود. متابولیسم بدن، به ویژه، فعالیت‌های کاتابولیک در حضور پروبیوتیک‌ها افزایش می‌یابد، که با افزایش بیان ژن‌ها و پروتئین‌های مرتبط با رشد مرتبط است. حضور پروبیوتیک‌ها در محیط آب پرورش منجر به بهبود کیفیت آب می‌شود، بطوری که ترکیبات میکروبی موجود در آب را بهبود می‌دهد که غیرمستقیم پارامترهای حیاتی مانند آمونیاک، نیتریت و نیترات را مدیریت می‌کند و تنش های شیمیایی وارد شده بر میگوها را کاهش، در نهایت محیط مساعدی را برای حمایت از رشد میگو فراهم می‌کند. به طور خلاصه، پروبیوتیک‌ها منجر به بهبود عملکرد رشد، تقویت سیستم ایمنی، مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا و بهبود کیفیت آب پرورش می‌شوند که راه و روش سویه‌های مختلف نسبت به هم متفاوت می‌باشد. در مطالعات بایستی ویژگی‌های گونه/ سویه/ مرحله پروبیوتیک‌ها مورد توجه قرار گیرد. تحقیقات بیشتری در رابطه با عملکرد و مکانیسم عمل پروبیوتیک‌ها نیاز هست که انجام گیرد، و برای صنعت آبزی‌پروری حائز اهمیت می‌باشد.

منابع

1. Adel M., Yeganeh S., Dawood M.A.O., Safari R., Radhakrishnan S. 2017. Effects of

10. Asaikkutti A., Bhavan P.S., Vimala K., Karthik M., Cheruparambath P. 2016. Effect of different levels dietary vitamin C on growth performance, muscle composition, antioxidant and enzyme activity of freshwater prawn, *Macrobrachium malcolmsonii*. *Aquaculture Reports*, 3: 229-236.

11. Bachruddin M., Sholichah M., Istiqomah S., Supriyanto A. 2018. Effect of probiotic culture water on growth, mortality, and feed conversion ratio of shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone). in IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*,137, 012036.

12. Bernal M.G., Campa-Córdova Á.I., Saucedo P.E., Casanova González M., Marrero R.M., Mazón-Suástegui J.M. 2015. Isolation and in vitro selection of actinomycetes strains as potential probiotics for aquaculture. *Veterinary World*, 8(2): 170-176.

13. Blacher E., Levy M., Tatirovsky E., Elinav E. 2017. Microbiome-modulated metabolites at the interface of host immunity. *The Journal of Immunology*, 198(2): 572-580.

14. Cabello F.C. 2006. Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture a growing problem for human and animal health and for the environment. *Environmental Microbiology*, 8: 1137- 1144. 7.

15. Chen C.Y., Chen P.C., Weng F.C.H., Shaw G.T., Wang D. 2017. Habitat and indigenous gut microbes contribute to the plasticity of gut microbiome in oriental river prawn during rapid environmental change. *PLoS One*, 12(7): e0181427.

16. Chen M., Chen X.Q., Tian L.X., Liu Y., Niu J. 2020. Improvement of growth, intestinal short-chain fatty acids, non-specific immunity and ammonia resistance in Pacific white shrimp *(Litopenaeus vannamei*) fed dietary water-soluble chitosan and mixed probiotics. *Comparative Biochemistry and Physiology Part - C: Toxicology and Pharmacology*, 236: 108791.

17. Chiu C.H., Guu Y.K., Liu C.H., Pan T. Cheng W. 2007. Immune responses and gene expression in white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, induced by *Lactobacillus plantarum*. *Fish and Shellfish Immunology*, 23(2): 364-377.

18. Chong H.Y., Tan L.T.H., Law J.W.F., Hong K.W. Ratnasingam V., Mutalib N.S., Lee L.H., Letchumanan V. 2022. Exploring the Potential of Human Milk and Formula Milk on Infants' Gut and Health. *Nutrients*, 14(17): 3554.

Pediococcus pentosaceus supplementation on growth performance, intestinal microflora and disease resistance of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 23: 1401–1409.

2. Aftabuddin S., Kashem M.A., Kader M.A., Sikder, M.N.A., Hakim, M.A. 2013. Use of Streptomyces fradiae and *Bacillus megaterium* as probiotics in the experimental culture of tiger shrimp *Penaeus monodon* (Crustacea, Penaeidae). *Aquaculture, Aquarium, Conservation* and *Legislation*, 6(3): 253-267.

3. Ajitha S., Sridhar M., Sridhar N., Singh I.S.B., Varghese V. 2004. Probiotic effects of lactic acid bacteria against *Vibrio alginolyticus* in *Penaeus (Fenneropenaeus) indicus* (H. Milne Edwards). Asian. *Fisheries Science*, 17(1): 71-80.

4. Akhter N., Wu B., Memon A.M., Mohsin, M. 2015. Probiotics and prebiotics associated with aquaculture: a review. *Fish and Shellfish Immunology*, 45(2): 733-741.

5. Alavandi S.V., Vijayan K.K., Santiago T.C., Poornima M., Jithendran K.P., Ali S.A., Rajan J.J.S. 2004. Evaluation of Pseudomonas sp. PM 11 and *Vibrio fluvialis* PM 17 on immune indices of tiger shrimp, *Penaeus monodon*. *Fish and Shellfish Immunology*, 17(2): 115-120.

6. Amenyogbe E., Chen G., Wang Z., Huang J.S., Huang B., Li H. 2020. The exploitation of probiotics, prebiotics and synbiotics in aquaculture: present study, limitations and future directions.: a review. *Aquaculture International*, 28: 1017-1041.

7. Amoah K., Huang Q.C., Tan B.P., Zhang S., Chi S.Y., Yang Q.H., Liu H.Y., Dong, X.H. 2019. Dietary supplementation of probiotic *Bacillus coagulans* ATCC 7050, improves the growth performance, intestinal morphology, microflora, immune response, and disease confrontation of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish and Shellfish Immunology*, 87: 796-808.

8. Amparyup P., Charoensapsri W., Tassanakajon A. 2013. Prophenoloxidase system and its role in shrimp immune responses against major pathogens. *Fish and Shellfish Immunology*, 34(4): 990-1001.

9. Aragona M., Lauriano E.R., Pergolizzi S., Faggio C. 2017. Opuntia ficus-indica (L.) Miller as a source of bioactivity compounds for health and nutrition. *Natural Product Research*, 14: 1–13.

19. Chumpol S., Kantachote D., Nitoda T., Kanzaki H. 2017. The roles of probiotic purple nonsulfur bacteria to control water quality and prevent acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) for enhancement growth with higher survival in white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during cultivation. *Aquaculture*, 473: 327-336.

20. Cornejo-Granados F., Gallardo-Becerra L., Leonardo-Reza M., Ochoa-Romo J.P., Ochoa-Leyva A. 2018. A meta-analysis reveals the environmental and host factors shaping the structure and function of the shrimp microbiota. *PeerJ*, 6: e5382.

21. Corrêa-Oliveira R., Fachi J.L., Vieira A., Sato F.T., Vinolo M.A.R. 2016. Regulation of immune cell function by short-chain fatty acids. *Clinical and Translational Immunology*, 5(4): e73.

22. da Silva B.C.E., Vieira F.D.N., Mouriño J.L.P., Bolivar, N., Seiffert W.Q. 2016. Butyrate and propionate improve the growth performance of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*, 47(2): 612-623.

23. da Silva Sabo S., Mendes M.A., da Silva Araújo, E., de Almeida Muradian L.B., Makiyama E.N., LeBlanc J.G., Borelli P., Fock R.A., Knöbl T., de Souza Oliveira R.P. 2020. Bioprospecting of probiotics with antimicrobial activities against Salmonella Heidelberg and that produce B-complex vitamins as potential supplements in poultry nutrition. *Science Reports*, 10(1): 1-14.

24. Dalmin G., Kathiresan K., Purushothaman A. 2001. Effect of probiotics on bacterial population and health status of shrimp in culture pond ecosystem. *Indian Journal of Experimental Biology*, 39(9): 939-942.

25. Dalto D.B., Matte J.J. 2017. Pyridoxine (vitamin B6) and the glutathione peroxidase system; a link between onecarbon metabolism and antioxidation. *Nutrients*, 9(3): 189.

26. Das S., Ward L.R., Burke C. 2008. Prospects of using marine actinobacteria as probiotics in aquaculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 81(3): 419-429.

27. Dawood M.A.O., Koshio S., Ishikawa M., El-Sabagh M., Esteban M.A., Zaineldin A.I. 2016. Probiotics as an environment friendly approach to enhance red sea bream, *Pagrus major* growth, immune response and oxidative status. *Fish and Shellfish Immunology*, 57: 170–178.

28. Dawood M.A.O., Koshio S., Abdel-Daim M.M., Van Doan H. 2018. Probiotic application for sustainable aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 11(3):907-924.

29. De B.C., Meena D.K., Behera B.K., Das P., Mohapatra P.D., Sharma A.P. 2014. Probiotics in fish and shellfish culture: immunomodulatory and Eco physiological responses. *Fish Physiology and Biochemistry*, 40(3): 921–971.

30. Duan Y., Zhang Y., Dong H., Wang Y., Zheng X., Zhang J. 2017. Effect of dietary Clostridium butyricum on growth, intestine health status and resistance to ammonia stress in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Fish and Shellfish Immunology*, 65: 25- 33.

31. Duan Y., Zhang Y., Dong H., Zheng X., Wang Y., Li H., Liu Q., Zhang J. 2017. Effect of dietary poly-β-hydroxybutyrate (PHB) on growth performance, intestinal health status and body composition of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Fish and Shellfish Immunology*, 60: 520-528.

32. Duan Y., Dong H., Wang Y., Zhang Y., Zhang J. 2018. Effects of the dietary probiotic Clostridium butyricum on intestine digestive and metabolic capacities, SCFA content and body composition in *Marsupenaeus japonicus. Journal of Ocean University of China*, 17(3): 690-696.

33. Duan Y., Wang Y., Dong H., Ding X., Liu Q., Li H., Zhang J., Xiong D. 2018. Changes in the intestine microbial, digestive, and immune-related genes of *Litopenaeus vannamei* in response to dietary probiotic *Clostridium butyricum* supplementation. *Frontiers in Microbiology*, 9: 2191.

34. Ernesto Ceseña C., Vega-Villasante F., Aguirre-Guzman G., Luna-Gonzalez, A., Campa-Cordova A. 2021. Update on the use of yeast in shrimp aquaculture: a minireview. *International Aquaculture Research*, 13(1): 1-16.

35. FAO. 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. https://doi.org/10.4060/cc0461en

36. Fernandes S., Kerkar S., Leitao J., Mishra A. 2019. Probiotic role of salt pan bacteria in enhancing the growth of whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei. Probiotics Antimicrob Proteins*, 11(4): 1309-1323.

47. Hindu S.V., Chandrasekaran N., Mukherjee A., Thomas J. 2018. Effect of dietary supplementation of novel probiotic bacteria *Bacillus vireti* 01 on antioxidant defence system of freshwater prawn challenged with *Pseudomonas aeruginosa*. *Probiotics Antimicrob Proteins*, 10(2): 356-366.

48. Holt C.C., Bass D., Stentiford G.D., Giezen M. 2020. Understanding the role of the shrimp gut microbiome in health and disease. *Journal of Invertebrate Pathology*, 107387.

49. Hoseinifar S.H., Ringø E., Shenavar Masouleh A., Esteban M.A. 2016. Probiotic, prebiotic and synbiotic supplements in sturgeon aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 8(1): 89-102.

50. Hoseinifar S.H., Sun Y.Z., Caipang C.M. 2017. Short-chain fatty acids as feed supplements for sustainable aquaculture: An updated view. *Aquaculture Research*, 48(4): 1380-1391.

51. Hui M.L.Y., Tan L.T.H., Letchumanan V., He Y.W., Fang C.M., Chan K.G., Law J.W., Lee L.H. 2021. The extremophilic Actinobacteria: from microbes to medicine. *Antibiotics*, 10(6): 682.

52. Huynh T.G., Shiu Y.L., Nguyen T.P., Truong Q.P., Chen J.C., Liu C.H. 2017. Current applications, selection, and possible mechanisms of actions of synbiotics in improving the growth and health status in aquaculture: a review. *Fish and Shellfish Immunology*, 64: 367-382.

53. Ibrahem M.D. 2015. Evolution of probiotics in aquatic world: Potential effects, the current status in Egypt and recent prospectives. *Journal of Advanced Research*, 6(6): 765-791.

54. Indira M., Venkateswarulu T., Peele K.A., Bobby M.N., Krupanidhi S. 2019. Bioactive molecules of probiotic bacteria and their mechanism of action: a review. *3 Biotech*, 9(8): 1-11.

55. Kewcharoen W., Srisapoome P. 2019. Probiotic effects of Bacillus spp. from Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) on water quality and shrimp growth, immune responses, and resistance to *Vibrio parahaemolyticus* (AHPND strains). *Fish and Shellfish Immunology*, 94: 175-189.

56. Keysami M.A., Mohammadpour M. 2013. Effect of *Bacillus subtilis* on *Aeromonas hydrophila* infection resistance in juvenile

37. Gamboa-delgado J., Molina-poveda C., Cahu C. 2003. Digestive enzyme activity and food ingesta in juvenile shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) as a function of body weight. *Aquaculture Research*, 34(15): 1403-1411.

38. Gatesoupe F.J. 1999. The use of probiotic in aquaculture. *Aquaculture*,180: 147–165.

39. Goh J.X.H., Tan L.T.H., Law J.W.F., Ser H.L., Khaw K.Y., Letchumanan V., Lee L.H., Goh B.H. 2022. Harnessing the potentialities of probiotics, prebiotics, synbiotics, paraprobiotics, and postbiotics for shrimp farming. *Reviews in Aquaculture*, 14: 1478-1557.

40. Goh J.X.H., Tan L.T.H., Law J.W.F., Khaw K.Y., Zengin G., Chan K.G., Letchumanan V., Lee L.H., Goh B.H. 2023. Probiotics: Comprehensive Exploration of the Growth Promotion Mechanisms in Shrimps. *Progress in Microbs and Molecular Biology*, 6, 1; a0000324.

41. Gullian M., Thompson F., Rodriguez J. 2004. Selection of probiotic bacteria and study of their immunostimulatory effect in *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 233(1-4): 1-14.

42. Hao K., Liu J.Y., Ling F., Liu X.L., Lu L., Xia L., Wang G.X. 2014. Effects of dietary administration of Shewanella haliotis D4, Bacillus cereus D7 and *Aeromonas bivalvium* D15, single or combined, on the growth, innate immunity and disease resistance of shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 428: 141-149.

43. Hargreaves J.A., 1998. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture*, 1998; 166(3-4): 181-212.

44. Hashemi Panah A., Rafiee G., Rezaei Tavabe K., Bozorgi S., Mirvaghefi A. 2021. Effects of utilization of *Lactococcus lactis* and *Pediococcus pentosaseus* as probiotic to improve quality of west white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) postlarvae. *Aquaculture Research*, 52(4): 1724-1732.

45. Hastuti Y.P., Syarifuddin N.I., Tridesianti S. 2020. Application of Halomonas sp. HIB-F to *Litopenaeus vannamei* aquaculture system. *Aquaculture, Aquarium, Conservation and Legislation*, 13(4): 2116-2126.

46. He H., Lawrence A.L., 1993. Vitamin E requirement of *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 118(3-4): 245-255.

approaches in intensive shrimp farming and biofloc: Novel disruptive techniques or complementary management tools? A scientific-based overview. *Aquaculture*, 567, 739273.

66. Khanjani M.H., Sharifinia M., Emerenciano M.G.C. 2023c. A detailed look at the impacts of biofloc on immunological and hematological parameters and improving resistance to diseases. *Fish and Shellfish Immunology*, 137:108796.

67. Kiesewalter H.T., Lozano-Andrade C.N., Maróti G., Snyder D., Cooper V.S., Jørgensen T.S., Weber T., Kovács A.T. 2020. Complete genome sequences of 13 Bacillus subtilis soil isolates for studying secondary metabolite diversity. *Microbiology Resource Announcements*, 9(2): e01406-19.

68. Knipe H., Temperton B., Lange A., Bass D., Tyler C.R. 2021. Probiotics and competitive exclusion of pathogens in shrimp aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 13(1): 324-352.

69. Koh A., De Vadder F., Kovatcheva Datchary P., Backhed F. 2016. From dietary fiber to host physiology: short-chain fatty acids as key bacterial metabolites. *Cell*, 165(6): 1332-1345.

70. Kong G.Y.E., Letchumanan V., Tan L.T.H., Law J.W. 2022. Gut Microbiome in Obsessive Compulsive Disorder: Potential of Probiotics as an Adjuvant Therapy. *Progress In Microbes and Molecular Biology*, 5(1).

71. Kulkarni A., Krishnan S., Anand D., Uthaman S.K., Otta S.K., Karunasagar I., Valappil R.K. 2021. Immune responses and immunoprotection in crustaceans with special reference to shrimp. *Reviews in Aquaculture*, 13(1): 431-459.

72. Kumar V., Roy S., Meena D.K., Sarkar U.K. 2016. Application of probiotics in shrimp aquaculture: importance, mechanisms of action, and methods of administration. *Reviews in Fisheries Science ana Aquaculrure*, 24(4): 342-368.

73. Kusmiyati N., Sunarti S., Wahyuningsih T.D. 2020. Inulinase activity of extracellular protein of *Lactobacillus casei* ap in different growth conditions. *Key Engineering Materials*. 840: 101-106.

74. Levy M., Blacher E., Elinav E. 2017. Microbiome, metabolites and host immunity. *Current Opinion in Microbiology*, 35: 8- 15.

75. Li J., Tan B., Mai K., Ai Q., Zhang W., Liufu Z., Xu W. 2008. Immune responses and freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *Aquaculture International*, 21(3): 553-562.

57. Khademzade O., Zakeri M., Haghi M., Mousavi S.M. 2020. The effects of water additive *Bacillus cereus* and Pediococcus acidilactici on water quality, growth performances, economic benefits, immunohematology and bacterial flora of whiteleg shrimp (*Penaeus vannamei* Boone, 1931) reared in earthen ponds. *Aquaculture Research*, 51(5): 1759-1770.

58. Khanjani M.H., Sharifinia M. 2022. Biofloc as a food source for Banana shrimp (*Fenneropenaeus merguiensis*) postlarvae. N. Am. J. Aquac. 45(4): 469-479.

59. Khanjani M.H., Eslami J., Ghaedi G., Sourinejad I. 2022a. The effects of different stocking densities on nursery performance of banana shrimp (*Fenneropenaeus merguiensis*) reared under biofloc condition. *Annals of Animal Scienses*, 22(4): 1291–1299.

60. Khanjani M.H., Zahedi S., Mohammadi A. 2022b. Integrated multitrophic aquaculture (IMTA) as an environmentally friendly system for sustainable aquaculture: functionality, species, and application of biofloc technology (BFT). *Environmental Science and Pollution Research*, 29(45): 67513-67531.

61. Khanjani M.H., Torfi Mozanzade M., Fóes G.K. 2022c. Aquamimicry system: a sutiable strategy for shrimp aquaculture. *Annals of Animal Scienses*, 22(4): 1201-1210.

62. Khanjani M.H., Ghaedi G., Sharifinia M. 2022d. Effects of diets containing β-glucan on survival, growth performance, hematological, immunity and biochemical parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fingerlings. *Aquaculture Research*, 53(5): 1842-1850.

63. Khanjani M.H., Sharifinia M., Ghaedi G. 2022f. β-glucan as a promising food additive and immunostimulant in aquaculture industry. *Annals of Animal Science*, 22(3): 817-827.

64. Khanjani M.H., Torfi Mozanzade M., Sharifinia M., Emerenciano M.G.C., 2023a. Biofloc: A sustainable dietary supplement, nutritional value and functional properties. *Aquaculture*, 562, 738757.

65. Khanjani M.H., da Silva L.O.B., Foes G.K., Vieira F.D., Poli M., Santos M., EmerencianoM.G.C. 2023b. Synbiotics and aquamimicry as alternative microbial-based

84. Meunpol O., Lopinyosiri K., Menasveta P. 2003. The effects of ozone and probiotics on the survival of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Aquaculture*, 220(1-4): 437-448.

85. Miao S., Han B., Zhao C., Hu J., Zhu J., Zhang X., Sun L. 2020. Effects of dietary Pediococcus acidilactici GY2 single or combined with *Saccharomyces cerevisiae* or/and β-glucan on the growth, innate immunity response and disease resistance of *Macrobrachium rosenbergii*. *Fish and Shellfish Immunology*, 98: 68-76.

86. Mo W.Y., Chen Z., Leung H.M., Leung A.O.W. 2017. Application of veterinary antibiotics in China's aquaculture industry and their potential human health risks. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(10): 8978-8989.

87. Mohammed Y., Lee B., Kang Z., Du G. 2014. Capability of *Lactobacillus reuteri* to produce an active form of vitamin B12 under optimized fermentation conditions. *Journal of Academia and Industrial Research*, 2: 617-21.

88. Mohapatra S., Chakraborty T., Prusty A., Das P., Paniprasad K., Mohanta K.N. 2012. Use of different microbial probiotics in the diet of rohu, *Labeo rohita* fingerlings: effects on growth, nutrient digestibility and retention, digestive enzyme activities and intestinal microflora. *Aquaculture Nutrition*, 18(1): 1-11.

89. Mohapatra S., Chakraborty T., Kumar V., DeBoeck G., Mohanta K.N., 2013. Aquaculture and stress management: a review of probiotic intervention. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 97(3): 405-430.

90. Moriarty D. 1998. Control of luminous *Vibrio* species in penaeid aquaculture ponds. Aquaculture, 164(1-4): 351-358.

91. Moss S.M., Forster I.P., Tacon A.G. 2006. Sparing effect of pond water on vitamins in shrimp diets. *Aquaculture*, 258(1-4): 388-395.

92. Moustafa E., Saad T., Khalil R. 2020. The ameliorative role of synbiotic culture techniques application in white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during nursery stage. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 8(3): 260-277.

93. Nath S,. Matozzo V., Bhandari D., Faggio C. 2018. Growth and liver histology of *Channa punctatus* exposed to a common biofertilizer. *Natural Product Research*, 28: 1–8.

94. Ng W.K., Koh C.B., Teoh C.Y., Romano N. 2015. Farm-raised tiger shrimp, *Penaeus* resistance against Vibrio parahaemolyticus induced by probiotic bacterium Arthrobacter XE-7 in Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society* 39(4): 477–489.

76. Li W., Luan S., Luo K., Sui J., Xu X., Tan J., Kong J. 2015. Genetic parameters and genotype by environment interaction for cold tolerance, body weight and survival of the Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* at different temperatures. *Aquaculture*, 441: 8-15.

77. Li E., Xu C., Wang X., Wang S., Zhao Q., Zhang M., Qin J.G., Chen L. 2018. Gut microbiota and its modulation for healthy farming of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Reviews in Fisheries Science ana Aquaculrure*, 26(3): 381-399.

78. Li H., Tian X., Zhao K., Jiang W., Dong S. 2019. Effect of *Clostridium butyricum* in different forms on growth performance, disease resistance, expression of genes involved in immune responses and mTOR signaling pathway of *Litopenaeus vannamai*. *Fish and Shellfish Immunology*, 87: 13-21.

79. Liu H., Liu M., Wang B., Jiang K., Jiang S., Sun S., Wang L. 2010. PCR-DGGE analysis of intestinal bacteria and effect of Bacillus spp. on intestinal microbial diversity in kuruma shrimp (*Marsupenaeus japonicus*). Journal *of Oceanology and Limnology*, 28(4): 808-814.

80. Liu W., Ren P., He S., Xu L., Yang Y., Gu Z., Zhou Z. 2013. Comparison of adhesive gut bacteria composition, immunity, and disease resistance in juvenile hybrid tilapia fed two different *Lactobacillus strains*. *Fish and Shellfish Immunology*, 35: 54–62.

81. Luis-Villasenor I.E., Castellanos-Cervantes T., Gomez-Gil B., Carrillo-García A.E., Campa-Córdova A.I., Ascencio F. 2013. Probiotics in the intestinal tract of juvenile whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei*: modulation of the bacterial community. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29(2): 257-265.

82. Ma R., Yang H., Sun Y., Ji-dan Y., Chunxiao Z., Wenyan L. 2010. Biological characteristics of two Bacillus strains isolated from gut of grouper, *Epinephlus coioides*. *Fisheries Science*, 29(9): 505-509.

83. Matias H.B., Yusoff F.M., Shariff M., Azhari O. 2002. Effects of commercial microbial products on water quality in tropical shrimp culture ponds. *Asian Fisheries Science*, 15(5): 239-248.

successful and sustainable shrimp aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 13(1): 238-258

104. Ramadhani D.E., Widanarni W., Sukenda S. 2019. Microencapsulation of probiotics and its applications with prebiotic in Pacific white shrimp larvae through *Artemia* sp. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 18(2): 130-140.

105. Rengpipat S., Rukpratanporn S., Piyatiratitivorakul S., Menasaveta P. 2000. Immunity enhancement in black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) by a probiont bacterium (*Bacillus* S11). *Aquaculture*, 191(4): 271-288.

106. Rengpipat S., Tunyanun A., Fast A.W., Piyatiratitivorakul S., Menasveta P. 2003. Enhanced growth and resistance to *Vibrio* challenge in pond-reared black tiger shrimp *Penaeus monodon* fed a *Bacillus* probiotic. *Diseases of Aquatic Organisms*, 55: 169–173.

107. Romano N., Koh C.B., Ng W.K. 2015. Dietary microencapsulated organic acids blend enhances growth, phosphorus utilization, immune response, hepatopancreatic integrity and resistance against Vibrio harveyi in white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 435: 228-236.

108. Romero J., Feijoó C.G., Navarrete P., 2012. Antibiotics in aquaculture–use, abuse and alternatives. Health and environment in aquaculture. 159, Books on Demand.

109. Rossi M., Amaretti A., Raimondi S. 2011. Folate production by probiotic bacteria. *Nutrients*, 3(1): 118-134.

110. Rowley A., Powell A., Invertebrate immune systems–specific, quasi-specific, or nonspecific? The *Journal of Immunology*, 179(11): 7209-7214

111. Sadat Hoseini Madani N., Adorian T.J., Ghafari Farsani H., Hoseinifar S.H. 2018. The effects of dietary probiotic Bacilli (*Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis*) on growth performance, feed efficiency, body composition and immune parameters of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) postlarvae. *Aquaculture Research*, 49(5): 1926-1933.

112. Seenivasan C., Bhavan P.S., Radhakrishnan S. 2011. Effect of probiotics (BinifitTM) on survival, growth, biochemical constituents and energy budget of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* post larvae. *Aquaculture*, 41: 5919-5927.

113. Seenivasan C., Radhakrishan S., Muralisankar T. 2012. Efficacy of probiotics on survival, growth, biochemical changes and *monodon*, fed commercial feeds with added organic acids showed enhanced nutrient utilization, immune response and resistance to *Vibrio harveyi* challenge. *Aquaculture*, 449: 69-77.

95. Nhan D.T., Wille M., De Schryver P., Defoirdt T., Bossier P., Sorgeloos P. 2010. The effect of poly β-hydroxybutyrate on larviculture of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*, 302(1-2): 76-81.

96. Nimrat S., Khaopong W., Sangsong J., Boonthai T., Vuthiphandchai V. 2019. Dietary administration of *Bacillus* and yeast probiotics improves the growth, survival, and microbial community of juvenile whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Applied Aquaculture*, 1-17.

97. Ochoa-Solano J.L., Olmos-Soto J. 2006. The functional property of *Bacillus* for shrimp feeds. *Food Microbiology*, 23(6): 519-525.

98. Olmos J., Acosta M., Mendoza G., Pitones V. 2020. *Bacillus subtilis*, an ideal probiotic bacterium to shrimp and fish aquaculture that increase feed digestibility, prevent microbial diseases, and avoid water pollution. *Archives of Microbiology*, 202(3): 427-435.

99. Pourmozaffar S., Hajimoradloo A., Miandare H.K. 2017. Dietary effect of apple cider vinegar and propionic acid on immune related transcriptional responses and growth performance in white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish and Shellfish Immunology*, 60: 65-71.

100. Pradeepkiran J.A. 2019. Aquaculture role in global food security with nutritional value: a review. *Translational Animal Science*, 3(2): 903-910.

101. Purivirojkul W., Maketon M., Areechon N. 2005. Probiotic properties of *Bacillus pumilus*, *Bacillus sphaericus* and *Bacillus subtilis* in black tiger shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius) Culture. *Kasetsart Journal - Natural Science*, 39: 262-273.

102. Qin Z., Babu V.S., Wan Q., Zhou M., Liang R., Muhammad A., Zhao L., Li J., Lan J., Lin L. 2018. Transcriptome analysis of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) challenged by *Vibrio parahaemolyticus* reveals unique immune-related genes. *Fish and Shellfish Immunology*, 77: 164-174.

103. Rajeev R., Adithya K., Kiran G.S., Selvin J. 2021. Healthy microbiome: a key to

123. Tadese D.A., Sun C., Liu B., Muritu R.W., Kevin N.T., Zhou Q., Zhu L., Zhang H., Bo L., Liu M., Xu H. 2020. Combined effects of emodin and *Clostridium butyricum* on growth and nonspecific immunity of giant freshwater prawns, *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*, 525: 735281.

124. Tamilarasu A., Ahilan B., Gopalakannan A., Lingam R.S.S. 2021. Evaluation of probiotic potential of Bacillus strains on growth performance and physiological responses in *Penaeus vannamei*. *Aquaculture Research*, 52(7): 3124-3136.

125. Tan L.T.H., Lee L.H., Goh B.H. 2020. Critical review of fermentation and extraction of anti-Vibrio compounds from Streptomyces. *Progress In Microbes and Molecular Biology*, 3(1)

126. Tsai C.Y., Chi C.C., Liu C.H. 2019. The growth and apparent digestibility of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, are increased with the probiotic, *Bacillus subtilis*. *Aquaculture Research*, 50(5): 1475-1481.

127. Verma G., Gupta A. 2015. Probiotics application in aquaculture: improving nutrition and health. *Animal Feed Science and Technology*, 3: 53-64.

128. Verschuere L., Rombaut G., Sorgeloos P., Verstraete W. 2000. Probiotic bacteria as biological control agents in aquaculture. *Microbiology and molecular biology reviews*, 64(4): 655-671.

129. Vieco-Saiz N., Belguesmia Y., Raspoet R., Auclair E., Gancel F., Kempf I., Drider D. 2019. Benefits and inputs from lactic acid bacteria and their bacteriocins as alternatives to antibiotic growth promoters during food-animal production. *Frontiers in Microbiology*, 10: 57.

130. Vijayan K.K., Singh I.S.B., Jayaprakash N.S., Alavandi S.V., Pai S.S., Preetha R., Rajan J.J.S., Santiago T.C. 2006. A brackishwater isolate of *Pseudomonas* PS-102, a potential antagonistic bacterium against pathogenic vibrios in penaeid and non-penaeid rearing systems. *Aquaculture*, 251(2-4): 192-200.

131. Vuong C.N., Chou W.K., Hargis B.M., Berghman L.R., Bielke L.R. 2016. Role of probiotics on immune function and their relationship to antibiotic growth promoters in poultry, a brief review. *International Journal of Probiotics and Prebiotics*, 11(1): 1-7.

132. Wang Y.B., Xu Z.R., Xia M.S. 2005. The effectiveness of commercial probiotics in energy utilization performance of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man 1879) post-larvae. *Journal* of *Scientific Research*, 4(3): 729-740.

114. Seenivasan C., Radhakrishnan S., Muralisankar T., Bhavan P.S. 2016. Effects of probiotics on survival, growth and digestive enzymes activities in freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (De Man 1879). Proceedings of the Zoological Society, 69: 52-60.

115. Ser H.L., Tan W.S., Yin W.F., Chan K.G. Letchumanan V. 2020. Whole genome sequence of MUM116, a *Bacillus* species isolated from intertidal soil. *Progress In Microbes and Molecular Biology*, 3(1).

116. Sharma P., Tomar S.K., Goswami P., Sangwan V., Singh, R. 2014. Antibiotic resistance among commercially available probiotics. *Food Research International*, 57: 176–195.

117. Shiau S.Y., Peng C.Y. 1992. Utilization of different carbohydrates at different dietary protein levels in grass prawn, *Penaeus monodon*, reared in seawater. *Aquaculture*, 101(3-4): 241-250.

118. Silva B., Nolasco-Soria H., Magallón-Barajas F., Civera-Cerecedo R., Casillas-Hernández R., Seiffert W. 2016. Improved digestion and initial performance of whiteleg shrimp using organic salt supplements. *Aquaculture Nutrition*, 22(5): 997-1005.

119. Sorum H. 2006. Antimicrobial drug resistance in fish pathogens. In: Aarestrup FM, ed. Antimicrobial Resistance in Bacteria of Animal Origin. Washington DC; ASM Press: 2006; 213-238.

120. Soto J.O. 2021. Feed intake improvement, gut microbiota modulation and pathogens control by using *Bacillus* species in shrimp aquaculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 37(2): 1-7.

121. Tacon A.G., Lemos D., Metian M. 2020. Fish for health: improved nutritional quality of cultured fish for human consumption. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*, 28(4): 449-458.

122. Tacon A.G. 2021. The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp a training manual: the essential nutrients. Available at: https://www.fao.org/3/AB470E/AB470E 08.htm [Accessed on 22 August 2021].

immunological parameters and resistance against *Vibrio alginolyticus* in shrimp, *Penaeus japonicus* (Decapoda: Penaeidae). *Aquaculture Research*, 42(7): 943-952.

140. Zhang H., Sun Z., Liu B., Xuan Y., Jiang M., Pan Y., Zhang Y., Gong Y., Lu X., Yu D., Kumar D., Hu X., Cao G., Xue R., Gong C., 2016. Dynamic changes of microbial communities in *Litopenaeus vannamei* cultures and the effects of environmental factors. *Aquaculture*, 455: 97-108.

141. Zhao L., Wang W., Huang X., Guo T., Wen W., Feng L., Wei L., 2017. The effect of replacement of fish meal by yeast extract on the digestibility, growth and muscle composition of the shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*, 48(1): 311-320.

142. Zhao Y., Duan C., Zhang X., Chen H., Ren H., Yin Y., Ye L., 2018. Insights into the gut microbiota of freshwater shrimp and its associations with the surrounding microbiota and environmental factors. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(6): 946-956.

143. Ziaei-Nejad S., Rezaei M.H., Takami G.A., Lovett D.L., Mirvaghefi A.R., Shakouri M. 2006. The effect of *Bacillus* spp. bacteria used as probiotics on digestive enzyme activity, survival and growth in the Indian white shrimp *Fenneropenaeus indicus*. *Aquaculture*, 252: 516–524.

144. Zokaeifar H., Balcázar J.L., Saad C.R., Kamarudin M.S., Sijam K., Arshad A., Nejat N. 2012. Effects of *Bacillus subtilis* on the growth performance, digestive enzymes, immune gene expression and disease resistance of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish and Shellfish Immunology*, 33: 683–689.

145. Zuo Z.H., Shang B.J., Shao Y.C., Li W.Y., Sun J.S., 2019. Screening of intestinal probiotics and the effects of feeding probiotics on the growth, immune, digestive enzyme activity and intestinal flora of *Litopenaeus vannamei*. *Fish and Shellfish Immunology*, 86: 160-168.

northern white shrimp *Penaeus vannamei* ponds. *Fisheries Science*, 71(5): 1036 – 1041.

133. Wang Y.B., Tian Z.Q., Yao J.T., Li W.F. 2008. Effect of probiotics, *Enteroccus faecium*, on tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth performance and immune response. *Aquaculture*, 277(3): 203-207.

134. Wang X.W., Wang J.X. 2013. Pattern recognition receptors acting in innate immune system of shrimp against pathogen infections. *Fish and Shellfish Immunology*, 34(4): 981-989.

135. Wang H., Wang C., Tang Y., Sun B., Huang J., Song X. 2018. *Pseudoalteromonas* probiotics as potential biocontrol agents improve the survival of *Penaeus vannamei* challenged with acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND)-causing *Vibrio parahaemolyticus*. *Aquaculture*, 494: 30-36.

136. Wei C., Wang X., Li C., Zhou H., Liu C., Mai K., He G. 2021. Effects of dietary Shewanella sp. MR-7 on the growth performance, immunity, and intestinal microbiota of Pacific white shrimp. *Aquaculture Reports*, 19: 100595.

137. Won S., Hamidoghli A., Choi W., Bae J., Jang W., Lee S., Bai S.C. 2020. Evaluation of Potential Probiotics *Bacillus subtilis* WB60, *Pediococcus pentosaceus*, and *Lactococcus lactis* on Growth Performance, Immune Response, Gut Histology and Immune Related Genes in Whiteleg Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Microorganisms*,19: 8(2): 281.

138. Xie J.J., Liu Q.Q., Liao S., Fang H.H., Yin P., Xie S.W., Tian L.X., Liu Y.J., Niu J. 2019. Effects of dietary mixed probiotics on growth, non-specific immunity, intestinal morphology and microbiota of juvenile pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish and Shellfish Immunology*, 90: 456-465.

139. Zhang Q., Tan B., Mai K., Zhang W., Ma H., Ai Q., Wang X., 2011. Dietary administration of Bacillus *(B. licheniformis* and *B. subtilis*) and isomaltooligosaccharide influences the intestinal microflora,

Probiotics: Water Quality, Growth and Immunity Performance in shrimp Aquaculture

Mohammad Hossein Khanjani*, Saeed Hajirezaee
Department of Fisheries Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Kerman, Iran.

Abstract
Over the last few decades, the aquaculture industry has grown and developed as one of the major food production industries. Increased stocking density and cultivated area are two ways to increase aquaculture production. Stocking density increases result in a decrease in water quality and the spread of pathogens. As a chemical substance, antibiotics are not widely accepted by consumers as a means of reducing pathogenic agents in aquaculture. Nowadays, probiotics are crucial to maintaining the health of farmed aquatic animals and increasing production performance without negatively affecting consumers. Probiotics are being used in more studies to achieve environmentally friendly sustainable aquaculture goals. Probiotics have been shown to improve water quality, feed efficiency, growth performance, digestive enzyme activity, immunity, and resistance to pathogens in shrimp aquaculture. The presence of probiotics helps shrimp under stressful conditions, such as handling, grading, transportation, vaccination, and disease treatment. In the aquaculture industry, probiotics are mostly *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Micrococcus*, *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, and *Carnobacterium* species. This study examines the use and importance of probiotics in shrimp aquaculture, as well as their effects on water quality, growth performance, and immunity.

Keywords: Aquaculture, Shrimp, Probiotics, Water quality, Growth performance, immunity.