CC BY

مقاله علمی – ترویجی:

میکروبیوم ماهیان زینتی؛ ارتباط با سلامت، مقاومت به بیماری و آبزی‌پروری پایدار

رکسانا فلاحی*[۱]، محمدرضا فائضی[۱]، گل‌اندام آل‌علی[۱]، فرشته آل‌علی‌زاده[۱]

*Roxana.fallahi@gmail.com

۱-موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۵ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۴۰۵

چکیده

میکروبیوم ماهیان زینتی یکی از حوزه‌های رو به رشد پژوهش در آبزی‌پروری است که می‌تواند پیامدهای مهمی برای سلامت ماهی، پیشگیری از بیماری، رفاه جانوران و پایداری سامانه‌های تولید و نگهداری داشته باشد. اجتماعات میکروبی مرتبط با روده، پوست، آبشش و محیط آبی پیرامون ماهی با میزبان و یکدیگر در تعامل هستند و ممکن است، بر متابولیسم مواد مغذی، یکپارچگی سدهای مخاطی، تنظیم پاسخ‌های ایمنی و حساسیت به عوامل بیماری‌زا اثر بگذارند. این موضوع در ماهیان زینتی اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا تراکم بالای نگهداری، حمل‌ونقل، جابه‌جایی، تغییرات جیره غذایی و نوسان کیفیت آب می‌توانند تعادل فیزیولوژیک و میکروبی سامانه را تحت تأثیر قرار دهند. در این مقاله، ترکیب و کارکرد میکروبیوم ماهیان زینتی، عوامل مؤثر بر شکل‌گیری آن، سازوکارهای احتمالی ارتباط میکروبیوم با سلامت و مقاومت به بیماری و کاربرد پروبیوتیک‌ها، پری‌بیوتیک‌ها، سین‌بیوتیک‌ها، پاراپروبیوتیک‌ها و سایر مداخلات مبتنی بر میکروبیوم بررسی می‌شود. همچنین نقش اجتماعات میکروبی آب و سطوح آکواریوم، تنش‌های محیطی و مواجهه با مواد ضدمیکروبی مورد توجه قرار می‌گیرد. شواهد جدید نشان می‌دهند که گونه میزبان، زیستگاه، جیره غذایی و شرایط پرورش از عوامل مهم تعیین‌کننده ساختار میکروبیوم هستند و تفاوت‌های قابل توجهی میان گونه‌ها و حتی میان ماهیان وحشی و پرورشی وجود دارد. پیشرفت فناوری‌های تعیین توالی، متاژنومیک و رویکردهای چنداُمیکی فرصت‌هایی برای پایش دقیق‌تر سلامت و توسعه راهبردهای پیشگیرانه فراهم کرده است. بااین‌حال، تنوع میکروبی به‌تنهایی شاخص قطعی و عمومی سلامت محسوب نمی‌شود و مشاهده ارتباط میان تغییرات میکروبیوم و بیماری نیز لزوماً رابطه علت و معلولی را اثبات نمی‌کند. دستیابی به کاربردهای قابل اتکا مستلزم تدوین الگوهای مرجع اختصاصی برای گونه‌های مختلف، استانداردسازی نمونه‌برداری و تحلیل، انجام مطالعات طولی، آزمون‌های کنترل‌شده مواجهه با عوامل بیماری‌زا و ارزیابی دقیق ایمنی زیستی است. در مجموع، تلفیق پژوهش‌های میکروبیوم با اصول شناخته‌شده نگهداری، امنیت زیستی، تغذیه مناسب و مدیریت کیفیت آب می‌تواند به بهبود سلامت ماهیان زینتی و توسعه آبزی‌پروری پیشگیرانه و مسئولانه از نظر زیست‌محیطی کمک کند.

کلمات کلیدی: ماهیان زینتی، میکروبیوم؛ میکروبیوتای روده، ایمنی مخاطی، مقاومت به بیماری، پروبیوتیک‌ها، دیس‌بیوز، میکروبیولوژی آکواریوم، آبزی‌پروری پایدار

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.22034/JOA.13.3.41]

مقدمه

پرورش و نگهداری ماهیان زینتی از بخش‌های مهم صنعت آبزی‌پروری محسوب می‌شود و شامل تکثیر، پرورش، نگهداری، حمل‌ونقل و تجارت گونه‌های مختلف آب شیرین و دریایی است. سلامت ماهیان زینتی به مجموعه‌ای از عوامل شامل کیفیت آب، تغذیه، تراکم نگهداری، شرایط حمل‌ونقل، وضعیت ایمنی، مدیریت بهداشتی و مواجهه با عوامل بیماری‌زا وابسته است. بیماری‌های عفونی، تلفات پس از انتقال، کاهش اشتها، اختلال رشد و کاهش کیفیت ظاهری می‌توانند خسارت اقتصادی قابل‌توجهی ایجاد کنند. استفاده نامناسب از مواد ضدمیکروبی نیز می‌تواند با اختلال در اجتماعات میکروبی، انتخاب باکتری‌های مقاوم و افزایش فشار دارویی بر محیط همراه باشد. ازاین‌رو، توجه به راهبردهای پیشگیرانه و مدیریت عوامل مؤثر بر سلامت میزبان اهمیت بیشتری یافته است.

در این زمینه، مطالعه میکروبیوم رویکردی نوین برای بررسی تعامل میان ماهی، میکروارگانیسم‌ها و محیط محسوب می‌شود. «میکروبیوتا» عمدتاً به اجتماع میکروارگانیسم‌های یک زیستگاه اشاره دارد، درحالی‌که مفهوم «میکروبیوم» می‌تواند علاوه بر اجتماع میکروبی، مجموعه ژن‌ها و ظرفیت‌های عملکردی مرتبط با آن را نیز دربر گیرد.

میکروارگانیسم‌های همراه ماهی می‌توانند در فرایندهای گوارشی، متابولیسم مواد مغذی، تولید متابولیت‌ها، رقابت با عوامل بیماری‌زا و تعامل با سیستم ایمنی مشارکت داشته باشند. بااین‌حال، عملکرد این اجتماعات به گونه میزبان، مرحله رشد، رژیم غذایی، شرایط محیطی و وضعیت فیزیولوژیک وابسته است و نمی‌توان یک الگوی واحد از «میکروبیوم مطلوب» را برای همه ماهیان تعریف کرد (Luan *et al*., 2023; Kanika *et al*., 2025).

اهمیت این موضوع در ماهیان زینتی بیشتر است؛ زیرا بسیاری از آنها در سامانه‌های نسبتاً بسته نگهداری می‌شوند و آب، خوراک، فیلترهای زیستی، بستر، تجهیزات و ماهیان تازه‌وارد می‌توانند در انتقال و بازتوزیع میکروارگانیسم‌ها نقش داشته باشند.

هدف مقاله حاضر، بررسی دانش موجود درباره میکروبیوم ماهیان زینتی، عوامل مؤثر بر آن، ارتباط احتمالی آن با سلامت و مقاومت به بیماری، کاربرد مداخلات میکروبی و چالش‌های تبدیل یافته‌های پژوهشی به راهکارهای عملی در آبزی‌پروری پایدار است.

دامنه و رویکرد مرور

مقاله حاضر، یک مرور روایتی است و محورهای اصلی آن شامل میکروبیوم روده، پوست و آبشش؛ اجتماعات میکروبی آب و محیط آکواریوم؛ عوامل مؤثر بر ساختار میکروبیوم؛ ارتباط میکروبیوم با سلامت و بیماری؛ مداخلات میکروبی و کاربردهای بالقوه آن‌ها در آبزی‌پروری پایدار است.

از آن‌جایی‌که بخش مهمی از مطالعات میکروبیوم در ماهیان خوراکی و مدل‌های آزمایشگاهی (گورخرماهی)، انجام شده است، تعمیم نتایج به ماهیان زینتی باید با احتیاط صورت گیرد. مطالعات اختصاصی ماهیان زینتی هنوز نسبتاً محدود هستند و نیاز به تولید داده‌های گونه‌محور وجود دارد (Hoseinifar *et al*., 2023; Kanika *et al*., 2025).

در تفسیر شواهد باید میان سه سطح تمایز قائل شد: نخست، مشاهده ارتباط آماری میان یک ویژگی میکروبی و وضعیت سلامت؛ دوم، ارائه سازوکار زیستی محتمل و سوم، اثبات رابطه علّی در آزمایش‌های کنترل‌شده. این تفکیک برای جلوگیری از برداشت بیش از حد قطعی از مطالعات میکروبیوم ضروری است.

ترکیب و پراکندگی میکروبیوم در ماهیان زینتی

میکروبیوم روده

روده یکی از مهم‌ترین زیستگاه‌های میکروبی در بدن ماهی است. شرایط فیزیکی و شیمیایی روده، مواد مغذی، سرعت عبور محتویات، ترشحات گوارشی و وضعیت ایمنی مخاطی همگی در شکل‌گیری اجتماع میکروبی نقش دارند.

مطالعات جدید نشان داده‌اند که ساختار میکروبیوم روده ماهیان تحت تأثیر هم‌زمان گونه میزبان، زیستگاه، رژیم غذایی، مرحله رشد و شرایط پرورش قرار دارد. در بسیاری از ماهیان مورد مطالعه، گروه‌هایی از باکتری‌ها مانند Proteobacteria، Firmicutes/ Bacillota و Fusobacteriota فراوانی قابل توجهی دارند، اما نسبت آنها در گونه‌ها و شرایط مختلف متفاوت است (Luan *et al*., 2023; Gupta *et al*., 2024; Kanika *et al*., 2025). مرور Kanika و همکاران (۲۰۲۵) نشان داد که گونه و محیط از عوامل مهم تعیین‌کننده ساختار میکروبیوم روده هستند و تفاوت قابل‌توجهی میان ماهیان پرورشی و وحشی مشاهده می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که ایجاد یک «پروفایل استاندارد» برای همه ماهیان، بدون توجه به گونه و سامانه پرورش، امکان‌پذیر نیست (Kanika *et al*., 2025).

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.22034/JOA.13.3.41]

گورخرماهی(*Danio rerio*) به دلیل کاربرد گسترده در پژوهش‌های زیستی، مدل مهمی برای بررسی تعامل میزبان و میکروبیوم است. با این‌حال، یافته‌های حاصل از این مدل را نمی‌توان بدون اعتبارسنجی به ماهیانی مانند گوپی، مولی، بتا، گلدفیش یا سیچلایدهای زینتی تعمیم داد.

از دیدگاه کاربردی، هدف مدیریت میکروبیوم نباید صرفاً افزایش تنوع میکروبی یا افزایش فراوانی یک گروه خاص باشد. پایداری اجتماع، عملکردهای متابولیک و ارتباط آن با پیامدهای واقعی سلامت اهمیت بیشتری دارد. همچنین وجود یک میکروارگانیسم در روده الزاماً به معنای استقرار پایدار آن نیست، زیرا بخشی از میکروارگانیسم‌های مشاهده‌شده ممکن است از خوراک یا آب وارد دستگاه گوارش شده باشند (Gupta *et al*., 2024) (جدول ۱).

جدول ۱: مهم‌ترین گروه‌های میکروبی شناسایی‌شده در روده ماهیان زینتی و نقش‌های آنها

گروه میکروبی	نمونه‌های شاخص	نقش‌های اصلی در میزبان	منابع
باکتری‌های مفید	Lactobacillus, Bacillus, Pseudomonas, Enteococcus	بهبود هضم، تولید ویتامین‌ها، تقویت سیستم ایمنی	Hosseinifar *et al*. (2023); Fachri *et al*. (2024); Torres-Maravilla et al. (2024)
باکتری‌های فرصت‌طلب و بالقوه مضر	Aeromonas, Vibrio,	ایجاد بیماری، تولید سموم، اختلال در تعادل میکروبی	Xavier *et al*. (2024); El-Son *et al*. (2025)
آرکی‌ها	Methanobrevibacter, Thermoplasmatales	کمک به هضم فیبرها، تولیدمثل، نقش در چرخه نیتروژن	Luan *et al*. (2023); Gupta *et al*. (2024)
قارچ‌ها	Candida, Saccharomyces, Aspergillus	تجزیه مواد آلی، تولید آنزیم‌ها، تنظیم ایمنی	Calcagnile *et al.* (2024); Hoseinifar *et al*. (2024)
ویروس‌ها	Bacteriophages, Cyanophages, Mycoviruses	کنترل جمعیت باکتری‌ها، نقش در سلامت روده	Tayyab *et al*. (2025); Kanika *et al*. (2025)
سایر میکروارگانیسم‌ها	Protozoa, Alage	تنوع زیستی، رقابت با عوامل بیماری‌زا، تعادل اکوسیستم روده	Smith *et al.* (2012); Kanika *et al*. (2025)

میکروبیوم پوست و آبشش

پوست و آبشش از مهم‌ترین سطوح تماس ماهی با محیط آبی هستند. مخاط این بافت‌ها علاوه بر نقش فیزیکی، حاوی ترکیبات و عوامل دفاعی است که بر استقرار میکروارگانیسم‌ها اثر می‌گذارند. میکروبیوم پوست و آبشش تحت تأثیر کیفیت آب، دما، شوری، شرایط تغذیه‌ای، ترکیب مخاط و وضعیت سلامت ماهی قرار دارد. تغییر در این اجتماعات ممکن است با بیماری، افزایش دما، تغییر شوری یا سایر تنش‌های محیطی همراه باشد. مطالعه Xavier و همکاران (۲۰۲۴) نشان داد که میکروبیوم بافت‌های مخاطی مختلف ممکن است نسبت به عوامل تنش‌زا پاسخ متفاوتی نشان دهد. برای مثال، میکروبیوم خارجی ماهی در برابر بیماری و تغییر دما و میکروبیوم روده در برابر تغییر شوری و برخی مواد درمانی حساسیت قابل توجهی نشان داده‌اند (Xavier *et al*., 2024). بنابراین، استفاده از میکروبیوم پوست یا آبشش به‌عنوان ابزار تشخیصی باید همراه با علائم بالینی، کیفیت آب و روش‌های تشخیصی استاندارد انجام شود.

میکروبیوم آب و محیط آکواریوم

آب آکواریوم یک زیستگاه میکروبی فعال است و اجتماعات آن از آب ورودی، خوراک، مواد دفعی، بستر، فیلتر، تجهیزات و ورود ماهیان جدید تأثیر می‌پذیرند. فیلترهای زیستی محل استقرار اجتماعات میکروبی مهم در چرخه ترکیبات نیتروژنی هستند. بنابراین، مدیریت میکروبیوم آکواریوم نباید به معنای حذف همه میکروارگانیسم‌ها باشد بلکه هدف باید حفظ عملکرد زیستی سامانه و کاهش احتمال ورود یا تکثیر عوامل بیماری‌زا باشد. مطالعه Smith و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که آب آکواریوم‌های ماهیان زینتی می‌تواند دارای تنوع باکتریایی قابل‌توجه و توالی‌های مرتبط با برخی عوامل بالقوه بیماری‌زا باشد. با این‌حال، شناسایی DNA یا توالی ژنتیکی یک میکروارگانیسم به‌تنهایی اثبات‌کننده زنده بودن، فعال بودن یا بیماری‌زایی آن نیست (Smith *et al*., 2012).

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.22034/JOA.13.3.41]

ازاین‌رو، کنترل بار آلی، عملکرد مناسب فیلتراسیون، تعویض منطقی آب، قرنطینه و بهداشت تجهیزات باید همچنان پایه مدیریت سلامت باشند.

عوامل مؤثر بر شکل‌گیری و تغییر میکروبیوم

گونه و مرحله رشد

گونه ماهی، ویژگی‌های ژنتیکی، ساختار دستگاه گوارش، رژیم غذایی، رفتار تغذیه‌ای و زیستگاه طبیعی از عوامل تعیین‌کننده میکروبیوم هستند. علاوه‌برآن، میکروبیوم در طول رشد و بلوغ نیز تغییر می‌کند. بنابراین، مقایسه میکروبیوم باید با کنترل گونه، سن، اندازه، مرحله رشد، رژیم غذایی و شرایط پرورش انجام شود. یافته‌های Kanika و همکاران (۲۰۲۵) نیز بر اهمیت تفاوت‌های گونه‌ای و محیطی تأکید دارد (Kanika *et al.*, 2025).

جیره غذایی و کیفیت خوراک

خوراک یکی از مهم‌ترین عوامل قابل مدیریت برای اثرگذاری بر میکروبیوم روده است. میزان پروتئین، چربی، کربوهیدرات، فیبر و ترکیبات زیست‌فعال می‌توانند محیط تغذیه‌ای میکروارگانیسم‌ها را تغییر دهند. تغییر ناگهانی جیره، خوراک نامناسب برای گونه یا خوراک با کیفیت پایین می‌تواند عملکرد گوارشی و محیط میکروبی سامانه را نیز تحت تأثیر قرار دهد. با این‌حال، اثر یک ترکیب غذایی در یک گونه الزاماً در گونه دیگر مشابه نیست. بنابراین، طراحی خوراک باید بر اساس نیازهای اختصاصی گونه انجام شود. Gupta و همکاران (۲۰۲۴) بر ضرورت بررسی با وضوح بالا و عملکردی میکروبیوم برای طراحی راهبردهای تغذیه‌ای پایدار تأکید کرده‌اند، زیرا تغییر در ترکیب میکروبی الزاماً به تغییر مطلوب در عملکرد میزبان منجر نمی‌شود (Gupta *et al.*, 2024).

کیفیت آب و تنش‌های محیطی

دما، اکسیژن محلول، pH، آمونیاک، نیتریت، شوری و بار مواد آلی از مهم‌ترین عوامل محیطی هستند. تغییرات این عوامل می‌توانند مستقیماً بر فیزیولوژی ماهی و به‌طور غیرمستقیم بر رشد و ترکیب اجتماعات میکروبی اثر بگذارند. Xavier و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که تغییرات دما و شوری از جمله عوامل محیطی هستند که برای ارتباط آنها با تغییرات میکروبیوم شواهد بیشتری وجود دارد (Xavier *et al.*, 2024).

در عمل، اصلاح کیفیت آب باید بر هر گونه مداخله مستقیم برای تغییر میکروبیوم مقدم باشد. پروبیوتیک یا مکمل غذایی نمی‌تواند جایگزین کنترل آمونیاک، نیتریت، اکسیژن، تراکم و عملکرد فیلتر زیستی شود.

حمل‌ونقل، جابه‌جایی و تراکم

ماهیان زینتی ممکن است در طول زنجیره تجارت چندین بار صید، بسته‌بندی، حمل و سازگار شوند. این فرایند می‌تواند با تغییر دما، کاهش اکسیژن، افزایش مواد دفعی، محدودیت غذایی و استرس ناشی از جابه‌جایی همراه باشد. استرس شدید یا مزمن می‌تواند بر عملکرد ایمنی، سدهای مخاطی و وضعیت گوارشی اثر بگذارد و از این طریق شرایط تغییر میکروبیوم را فراهم کند. کاهش مدت حمل‌ونقل، بسته‌بندی مناسب، کنترل شرایط آب، سازگارسازی تدریجی و قرنطینه مناسب از مهم‌ترین اقدامات مدیریتی هستند.

داروها و مواد ضدمیکروبی

مواد ضدمیکروبی ممکن است، علاوه بر عامل هدف، بر میکروارگانیسم‌های غیرهدف نیز اثر بگذارند. مطالعه Xavier و همکاران (۲۰۲۴) نشان می‌دهد که برخی درمان‌های ضدمیکروبی می‌توانند با تغییرات قابل‌توجه در میکروبیوم همراه باشند و شدت این تغییرات به نوع ماده و شرایط بستگی دارد (Xavier *et al.*, 2024). استفاده غیرضروری یا تکرارشونده از آنتی‌بیوتیک‌ها می‌تواند فشار انتخابی برای مقاومت میکروبی ایجاد کند. بنابراین، استفاده از دارو باید بر اساس تشخیص مناسب و توصیه متخصص انجام شود و اصلاح شرایط محیطی بخش مهمی از مدیریت بیماری باقی بماند (جدول ۲).

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.22034/JOA.13.3.41]

جدول ۲: عوامل مؤثر بر تنوع و ترکیب میکروبیوم روده ماهیان زینتی

دسته‌بندی عوامل	عامل خاص	تأثیر بر میکروبیوم	منابع
گونه و میزبان	گونه ماهی	تفاوت در ترکیب و تنوع میکروبی	Kanika *et al*. (2025); Luan *et al*. (2023)
	مرحله رشد	افزایش تنوع در مراحل اولیه رشد	Kanika *et al*. (2025); Smith *et al*. (2012)
	ژنتیک و سلامت	تغییر در پاسخ ایمنی و ترکیب میکروبی	Xavier *et al*. (2024)
کیفیت آب و شرایط محیطی	دما	تأثیر بر رشد و فعالیت میکروبی	Hoseinifar *et al*. (2023); Tayyab *et al*. (2025)
	pH	تغییر در تعادل باکتری‌های مفید و مضر	Luan *et al*. (2023); Gupta *et al*. (2024)
	اکسیژن محلول	تنظیم تنوع و ساختار میکروبی	Xavier *et al*. (2024)
	آلودگی و کیفیت آب	افزایش عوامل بیماری‌زا و کاهش تنوع مفید	Fachri *et al*. (2024); Torres-Maravilla *et al*. (2024)
تغذیه	نوع و کیفیت خوراک	تأمین مواد مغذی و رشد باکتری‌های مفید	Hoseinifar *et al*. (2023); Calcagnile *et al*. (2024)
	پروبیوتیک‌ها و پری‌بیوتیک‌ها	افزایش تنوع مفید و کاهش عوامل بیماری‌زا	Fachri *et al*. (2024); Hoseinifar *et al*. (2024)
	مکمل‌های غذایی	بهبود عملکرد ایمنی و گوارشی	Torres-Maravilla *et al*. (2024); Gupta *et al*. (2024)
مدیریت و فاکتورهای مدیریتی	تراکم نگهداری	افزایش استرس و کاهش تنوع میکروبی	El-Son *et al*. (2025); Tayyab *et al*. (2025)
	استرس	افزایش باکتری‌های فرصت‌طلب	Xavier *et al*., (2024); Kanika *et al*. (2025)
	استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها	اختلال در تعادل میکروبی	Calcagnile *et al*. (2024); Tayyab *et al*. (2025)

ارتباط میکروبیوم با سلامت ماهی

هضم و متابولیسم مواد مغذی

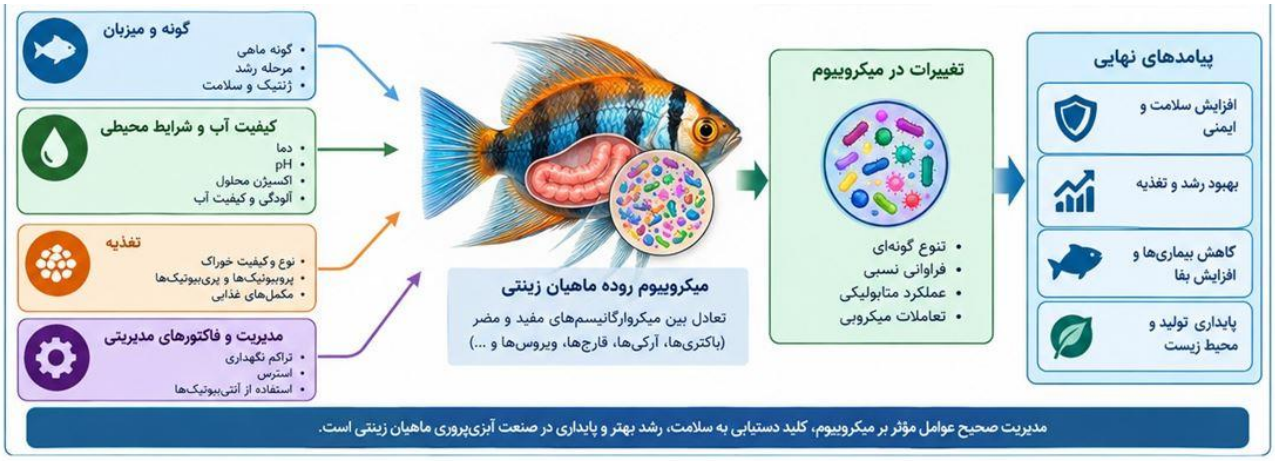
میکروارگانیسم‌های روده می‌توانند در تجزیه برخی ترکیبات غذایی، تبدیل مواد آلی و تولید متابولیت‌ها مشارکت داشته باشند. با این‌حال، اهمیت این عملکردها به نوع میکروارگانیسم، جیره و ویژگی‌های میزبان وابسته است. وجود ژن مربوط به یک مسیر متابولیک در داده‌های متاژنومیک الزاماً به معنای فعال بودن آن مسیر نیست. برای ارزیابی عملکرد واقعی، استفاده از متابولومیک، بیان ژن و شاخص‌های فیزیولوژیک در کنار داده‌های ترکیبی اهمیت دارد (Gupta *et al*., 2024).

ایمنی مخاطی و سدهای دفاعی

پوست، آبشش و روده نخستین سطوح تماس ماهی با محیط و بسیاری از عوامل بیماری‌زا هستند. مخاط، سلول‌های پوششی، عوامل ضدمیکروبی و اجزای ایمنی ذاتی در حفاظت از این سطوح مشارکت دارند. میکروارگانیسم‌های همزیست ممکن است از طریق رقابت برای منابع، تولید ترکیبات مهارکننده و تعدیل پاسخ میزبان در این فرایند نقش داشته باشند. در مقابل، وضعیت ایمنی و فیزیولوژیک میزبان نیز بر ساختار میکروبیوم اثر می‌گذارد. بنابراین، ارتباط میکروبیوم و ایمنی را باید یک تعامل دوطرفه و پویا دانست (Luan *et al*., 2023; El-Son *et al*., 2025) (شکل ۱).

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.22034/JOA.13.3.41]



شکل ۱: مدل مفهومی تأثیر عوامل مختلف بر میکروبیوم روده ماهیان زینتی و پیامدهای آن

هم‌ایستایی و دیس‌بیوز

دیس‌بیوز، اصطلاحی برای توصیف تغییر نامطلوب در ساختار یا عملکرد اجتماع میکروبی است. این تغییر ممکن است شامل افزایش برخی میکروارگانیسم‌های فرصت‌طلب، کاهش گروه‌های دارای عملکرد سودمند یا تغییر فعالیت‌های متابولیک باشد. با این‌حال، تعریف کمی و جهانی برای دیس‌بیوز در تمام گونه‌های ماهی وجود ندارد. Xavier و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که بیماری، مواد درمانی و برخی تغییرات محیطی می‌توانند با تغییرات میکروبیوم همراه باشند، اما نوع و شدت پاسخ در بافت‌ها و گونه‌های مختلف متفاوت است (Xavier *et al.*, 2024). بنابراین، مشاهده تغییر میکروبیوم در ماهی بیمار به‌تنهایی مشخص نمی‌کند که تغییر میکروبی علت بیماری یا پیامد آن بوده است.

میکروبیوم و مقاومت به بیماری

رقابت با عوامل بیماری‌زا

یکی از سازوکارهای احتمالی محافظت میکروبی، رقابت میان اعضاء میکروبیوتای بومی و عوامل بیماری‌زا برای مواد مغذی یا محل اتصال است. برخی میکروارگانیسم‌ها نیز می‌توانند ترکیباتی مانند اسیدهای آلی یا مواد مهارکننده تولید کنند. با این‌حال، این اثرها به سویه وابسته هستند و نمی‌توان اثر یک سویه را به تمام اعضاء یک جنس یا گونه تعمیم داد (Fachri *et al.*, 2024).

تعدیل پاسخ ایمنی

مداخلات میکروبی و تغذیه‌ای ممکن است برخی شاخص‌های ایمنی را تغییر دهند. مرورهای جدید ارتباط بالقوه میان میکروبیوم روده، هم‌ایستایی ایمنی و مقاومت در برابر بیماری را برجسته کرده‌اند (El-Son *et al.*, 2025). با این‌حال، افزایش یک شاخص ایمنی الزاماً به معنای افزایش مقاومت واقعی به بیماری نیست. برای اثبات اثر محافظتی باید پیامدهایی مانند بقاء، شدت بیماری، بار عامل بیماری‌زا، آسیب بافتی و عملکرد رشد در شرایط کنترل‌شده بررسی شوند.

پیامدهای عملی برای ماهیان زینتی

در ماهیان زینتی، دوره‌های حمل‌ونقل، سازگارسازی و ورود به آکواریوم جدید از دوره‌های مهم خطر هستند. مداخلات میکروبیوم می‌توانند در آینده بخشی از برنامه پیشگیرانه باشند، اما در شرایط فعلی نباید جایگزین قرنطینه، کنترل کیفیت آب، بهداشت تجهیزات، تشخیص بیماری و درمان هدفمند شوند. در مطالعه El-Son و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند که حوزه میکروبیوم در حال حرکت به سمت راهبردهای دقیق‌تر شامل پروبیوتیک‌ها، پری‌بیوتیک‌ها، متاژنومیک، مهندسی میکروبیوم و حتی ابزارهای پیش‌بینی است. با این‌حال، اعتبارسنجی در شرایط واقعی همچنان ضروری است (El-Son *et al.*, 2025).

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.22034/JOA.13.3.41]

مداخلات مبتنی بر میکروبیوم

پروبیوتیک‌ها

پروبیوتیک‌ها میکروارگانیسم‌های زنده‌ای هستند که در صورت مصرف در مقدار مناسب و شرایط مشخص می‌توانند اثر سودمند داشته باشند.

مکانیسم‌های احتمالی شامل رقابت با عوامل بیماری‌زا، تولید ترکیبات مهارکننده، تعدیل ایمنی، کمک به هضم و تغییر اجتماع میکروبی است. بااین‌حال، اثربخشی پروبیوتیک‌ها به سویه وابسته است (Torres-Maravilla *et al*., 2024; Calcagnile *et al*., 2024).

در سال‌های اخیر، توجه به ارزیابی ژنومی و ایمنی سویه‌های پروبیوتیک افزایش یافته است. بررسی ژن‌های مرتبط با مقاومت آنتی‌میکروبی، عوامل بیماری‌زایی، تولید ترکیبات نامطلوب و توانایی‌های عملکردی می‌تواند بخشی از فرایند انتخاب سویه باشد (Calcagnile *et al*., 2024). در مطالعه بر ماهیان زینتی، نشان داده شد که مکمل‌سازی با مخمر *Rhodotorula paludigena* CM33 می‌تواند با بهبود برخی شاخص‌های رشد، ایمنی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، رنگ‌پذیری و تغییرات میکروبیوتای روده همراه باشد. این مطالعه از نمونه‌های مهم شواهد اختصاصی برای ماهیان زینتی محسوب می‌شود، اما نتایج آن را نباید به همه گونه‌ها و سویه‌های پروبیوتیکی تعمیم داد. از این‌رو، پیش از استفاده تجاری از هر پروبیوتیک باید هویت سویه، دوز، پایداری، ایمنی زیستی و اثر آن بر ماهی و محیط آکواریوم بررسی شود (Fachri *et al*., 2024; Calcagnile *et al*., 2024).

پری‌بیوتیک‌ها

پری‌بیوتیک‌ها، بسترها یا ترکیباتی هستند که می‌توانند به صورت انتخابی توسط میکروارگانیسم‌های میزبان مورد استفاده قرار گیرند و از طریق آنها اثر سودمند ایجاد کنند. اثر پری‌بیوتیک به ساختار شیمیایی، میزان مصرف، جیره پایه و ظرفیت اجتماع میکروبی میزبان بستگی دارد. بنابراین، تغییر ترکیب میکروبیوم پس از مصرف پری‌بیوتیک به‌تنهایی برای اثبات اثر سودمند کافی نیست.

مطالعات جدید بر ضرورت ارزیابی هم‌زمان ترکیب میکروبیوم و پیامدهای عملکردی میزبان تأکید دارند (Gupta *et al*., 2024).

سین‌بیوتیک‌ها

سین‌بیوتیک‌ها از ترکیب پروبیوتیک و پری‌بیوتیک تشکیل می‌شوند و هدف آنها ایجاد اثر مکمل یا هم‌افزاست. برای اثبات برتری سین‌بیوتیک، اثر هر جزء به‌تنهایی باید با اثر ترکیب مقایسه شود. علاوه بر تغییرات میکروبی، رشد، بقاء، ایمنی، مقاومت به بیماری و کیفیت آب باید ارزیابی شوند. در ماهیان زینتی، تفاوت‌های گونه‌ای و تفاوت در شرایط نگهداری اهمیت ویژه‌ای دارد و استفاده از نتایج مطالعات ماهیان خوراکی بدون اعتبارسنجی مناسب توصیه نمی‌شود.

پاراپروبیوتیک‌ها و پست‌بیوتیک‌ها

پاراپروبیوتیک‌ها، معمولاً به سلول‌های میکروبی غیرفعال یا اجزاء سلولی آنها اشاره دارند. پست‌بیوتیک‌ها نیز به فرآورده‌ها یا اجزاء غیرفعال میکروبی گفته می‌شوند که اثر سودمند آنها برای میزبان نشان داده شده باشد. این رویکردها ممکن است برخی محدودیت‌های مرتبط با زنده ماندن و نگهداری میکروارگانیسم‌های زنده را کاهش دهند. با این‌حال، غیرفعال بودن یک فرآورده به‌خودی‌خود ایمنی یا اثربخشی آن را تضمین نمی‌کند.

مطالعه Fachri و همکاران (۲۰۲۴) نشان می‌دهد که پاراپروبیوتیک‌ها از حوزه‌های رو به رشد در آبزی‌پروری هستند، اما تعیین دوز، ترکیب، پایداری و ایمنی آنها همچنان اهمیت دارد (Fachri *et al*., 2024).

مهندسی میکروبیوم

مهندسی میکروبیوم مفهومی گسترده‌تر از استفاده از یک پروبیوتیک منفرد است و می‌تواند شامل انتخاب اجتماعات میکروبی، اصلاح جیره، مدیریت محیط، استفاده از داده‌های متاژنومیک و طراحی مداخلات اختصاصی باشد.

مطالعات جدید در سال ۲۰۲۵ این حوزه را به سمت رویکردهای دقیق‌تر مانند میکروبیوم‌مهندسی، میکروبیوتاهای طراحی‌شده و ترکیب داده‌های ژنومی، متابولومیک و حتی هوش مصنوعی سوق داده‌اند (Tayyab *et al*., 2025).

با این‌حال، مهندسی میکروبیوم در ماهیان زینتی هنوز عمدتاً در مرحله پژوهشی قرار دارد. ارزیابی انتقال ژن‌های مقاومت، اثر بر فیلتر زیستی، پایداری در محیط و پیامدهای احتمالی برای سایر جانداران باید بخش جدایی‌ناپذیر توسعه این فناوری باشد.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.22034/JOA.13.3.41]

نقش میکروبیوم در آبزی‌پروری پایدار ماهیان زینتی

کاهش تلفات و افزایش رفاه

کاهش تنش، حفظ کیفیت آب، تغذیه مناسب و پیشگیری از بیماری از پایه‌های رفاه ماهیان زینتی هستند. شناخت میکروبیوم می‌تواند در آینده به شناسایی نشانگرهای زودهنگام اختلال سلامت کمک کند. با این‌حال، بسیاری از این نشانگرها هنوز نیازمند اعتبارسنجی مستقل هستند.

کاهش وابستگی به مواد ضدمیکروبی

مداخلات مبتنی بر میکروبیوم می‌توانند در شرایط مشخص به کاهش خطر بیماری کمک کنند و از این طریق احتمال مصرف غیرضروری مواد ضدمیکروبی را کاهش دهند. با این‌حال، این محصولات جایگزین تشخیص، قرنطینه و درمان هدفمند نیستند. کاهش مصرف غیرضروری آنتی‌بیوتیک بیش از هر چیز به مدیریت مناسب سامانه، امنیت زیستی، کنترل تراکم و تشخیص سریع وابسته است.

مدیریت زیستی سامانه‌های بسته

در آکواریوم‌ها و سامانه‌های بازچرخشی، فیلتر زیستی نقش اساسی در کنترل ترکیبات نیتروژنی دارد. استفاده نامناسب از مواد ضدعفونی‌کننده یا مواد شیمیایی می‌تواند این اجتماعات مفید را مختل کند. بنابراین، مدیریت میکروبی باید در زمینه حفظ عملکرد فیلتر زیستی و پایداری کیفیت آب انجام شود.

حفاظت از تنوع زیستی و تجارت مسئولانه

کاهش تلفات در زنجیره تجارت ماهیان زینتی و افزایش موفقیت تکثیر در اسارت می‌تواند به کاهش فشار بر جمعیت‌های طبیعی کمک کند. به‌علاوه، انتقال عوامل بیماری‌زا میان مناطق یکی از نگرانی‌های مهم تجارت ماهیان زینتی است. قرنطینه، ضدعفونی مناسب تجهیزات، جلوگیری از انتقال آب آکواریوم و جلوگیری از رهاسازی ماهیان یا آب نگهداری‌شده در محیط طبیعی باید بخشی از مدیریت مسئولانه تجارت باشد.

روش‌های بررسی میکروبیوم و محدودیت‌های آنها

روش‌های مبتنی بر تعیین توالی

تعیین توالی ژن ۱۶ S rRNA یکی از روش‌های متداول برای بررسی ترکیب اجتماعات باکتریایی است. این روش برای شناسایی الگوهای کلی مفید است، اما معمولاً برای شناسایی دقیق سویه‌ها یا تعیین عملکرد واقعی کافی نیست. متاژنومیک شات‌گان امکان بررسی گسترده‌تر مواد ژنتیکی و شناسایی ژن‌ها و ظرفیت‌های عملکردی احتمالی را فراهم می‌کند. روش‌های متاترنسکریپتومیک، متابولومیک و سایر روش‌های چنداُمیکی می‌توانند در کنار داده‌های تعیین توالی، تصویر دقیق‌تری از فعالیت اجتماع میکروبی و تعامل آن با میزبان ارائه دهند.
مطالعه Gupta و همکاران (۲۰۲۴) نشان می‌دهد که افزایش وضوح در بررسی میکروبیوم می‌تواند برای طراحی راهبردهای دقیق‌تر در آبزی‌پروری اهمیت داشته باشد (Gupta *et al.*, 2024).

مشکلات نمونه‌برداری و تحلیل داده‌ها

نتایج مطالعات میکروبیوم به محل نمونه‌برداری، زمان نمونه‌گیری، شرایط انتقال و نگهداری، روش استخراجDNA ، روش تعیین توالی و روش تحلیل داده‌ها وابسته است. آلودگی نمونه نیز به‌ویژه در نمونه‌هایی با بار میکروبی پایین می‌تواند بر نتایج اثر بگذارد. از این‌رو، استفاده از کنترل‌های مناسب، ثبت دقیق شرایط، استانداردسازی روش‌ها و گزارش کامل فرایند آزمایش برای افزایش تکرارپذیری ضروری است.

محدودیت تعمیم نتایج به ماهیان زینتی

بخش مهمی از دانش موجود از ماهیان خوراکی و مدل‌های آزمایشگاهی حاصل شده است درحالی‌که این مطالعات برای شناسایی سازوکارهای زیستی ارزشمند هستند، تفاوت‌های گونه‌ای می‌تواند بر نتیجه نهایی اثر بگذارد. حتی در میان ماهیان زینتی نیز اختلاف در دما، شوری، رژیم غذایی، رفتار اجتماعی و سامانه نگهداری می‌تواند موجب تفاوت میکروبیوم شود. بنابراین، هر گونه توصیه کاربردی باید تا حد امکان با شواهد اختصاصی گونه هدف پشتیبانی شود.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.22034/JOA.13.3.41]

چالش‌ها و اولویت‌های پژوهشی

با وجود رشد سریع مطالعات میکروبیوم، چند مانع اساسی برای تبدیل نتایج پژوهشی به کاربرد تجاری وجود دارد. نخست، برای بسیاری از گونه‌های ماهیان زینتی اطلاعات مرجع کافی درباره میکروبیوم طبیعی در مراحل مختلف رشد و شرایط مختلف نگهداری وجود ندارد.

دوم، بسیاری از مطالعات عمدتاً ترکیب میکروبی را بررسی می‌کنند و اطلاعات محدودتری درباره عملکرد واقعی اجتماع میکروبی دارند. پژوهش‌های جدید بر ضرورت ترکیب داده‌های ترکیبی با اطلاعات عملکردی تأکید کرده‌اند (Gupta *et al*., 2024). سوم، برای اثبات نقش علّی میکروبیوم در بیماری یا مقاومت به بیماری، مطالعات طولی و آزمایش‌های کنترل‌شده لازم است. چهارم، ایمنی زیستی محصولات میکروبی اهمیت زیادی دارد. سویه‌ها باید از نظر هویت، عوامل بیماری‌زایی، مقاومت آنتی‌میکروبی و احتمال انتقال ژن‌های نامطلوب ارزیابی شوند (Calcagnile *et al*., 2024).

پنجم، کاربرد تجاری نیازمند بررسی هزینه، پایداری، سهولت مصرف و اثربخشی در شرایط واقعی است.

بر اساس شواهد جدید، اولویت‌های پژوهشی آینده شامل موارد ذیل هستند:

۱. تدوین پروفایل مرجع میکروبیوم برای گونه‌های مهم ماهیان زینتی

۲. بررسی هم‌زمان میکروبیوم روده، پوست، آبشش و آب آکواریوم

۳. مطالعه تغییرات میکروبیوم در طول زمان و در دوره‌های استرس و بیماری

٤. ترکیب داده‌های S ۱۶ و متاژنومیک با متابولومیک و شاخص‌های فیزیولوژیک

٥. انجام آزمون‌های کنترل‌شده مواجهه با عوامل بیماری‌زا

٦. ارزیابی اختصاصی سویه‌های پروبیوتیکی در گونه‌های زینتی

۷. استانداردسازی روش‌های نمونه‌برداری و تحلی.

۸. بررسی ایمنی زیستی مداخلات میکروبی

۹. توسعه نشانگرهای میکروبی معتبر برای تشخیص زودهنگام اختلال سلامت

۱۰. استفاده مسئولانه از ابزارهای هوش مصنوعی و مدل‌های پیش‌بینی برای تفسیر داده‌های پیچیده میکروبیوم

نتیجه‌گیری

میکروبیوم ماهیان زینتی حوزه‌ای مهم و رو به توسعه است که ظرفیت قابل‌توجهی برای بهبود شناخت سلامت ماهی، پیشگیری از بیماری و افزایش پایداری سامانه‌های نگهداری و پرورش دارد. اجتماعات میکروبی روده، پوست، آبشش و محیط آکواریوم با میزبان و شرایط محیطی در تعامل هستند و ممکن است بر تغذیه، دفاع مخاطی، ایمنی و حساسیت به عوامل بیماری‌زا اثر بگذارند. با این‌حال، شواهد فعلی از ارائه یک الگوی واحد و عمومی برای «میکروبیوم سالم» در تمام گونه‌های زینتی حمایت نمی‌کند. گونه میزبان، مرحله رشد، رژیم غذایی، کیفیت آب و شرایط پرورش باید در تفسیر داده‌ها مورد توجه قرار گیرند. پروبیوتیک‌ها، پری‌بیوتیک‌ها، سین‌بیوتیک‌ها و پاراپروبیوتیک‌ها می‌توانند در صورت اثبات اثربخشی و ایمنی، بخشی از راهبردهای پیشگیرانه آینده باشند. شواهد جدید همچنین نشان می‌دهند که حوزه به سمت مهندسی دقیق‌تر میکروبیوم و استفاده از داده‌های چنداُمیکی حرکت می‌کند. با این‌حال، ارزش عملی این فناوری‌ها زمانی بیشترین خواهد بود که در کنار اصول پایه نگهداری ماهیان زینتی، شامل مدیریت کیفیت آب، تغذیه متعادل، قرنطینه، کاهش تنش، امنیت زیستی و درمان مسئولانه بیماری‌ها، به‌کار گرفته شوند.

در نهایت، آینده پژوهش میکروبیوم در ماهیان زینتی نه‌تنها در جایگزین کردن کامل روش‌های سنتی مدیریت سلامت بلکه در تکمیل آنها با ابزارهای دقیق‌تر، پیشگیرانه‌تر و مبتنی بر شواهد قرار دارد.

منابع

Calcagnile, M., Tredici, S. M. and Alifano, P., 2024. A comprehensive review on probiotics and their use in aquaculture: Biological control, efficacy, and safety through the genomics and wet methods. *Heliyon,* 10(24), e40892. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40892

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.22034/JOA.13.3.41]

Kaewda, J., Sangsawad, P., Boonanuntanasarn, S., Manassila, P., Boontawan, A., Ketudat-Cairns, M., Sriphuttha, Ch., Nakharuthai, Ch., 2020. AEffects of probiotics Red Yeast *Rhodotorula paludigena* CM33 on enhancing color pigmentation, antioxidant activity, immune response, intestinal microbiota, and growth in a commercial ornamental fish: Flowerhorn fish. *Aquaculture Reports,* 40, 102609. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102609**.** AEffects of probiotics Red Yeast Rhodotorula paludigena CM33 on enhancing color pigmentation, antioxidant activity, immune response, intestinal microbiota, and growth in a commercial ornamental fish: Flowerhorn fish. *Aquaculture Reports,* 40, 102609. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102609

El-Son, M. A. M., Elbahnaswy, S., Khormi, M. A., Aborasain, A. M., Abdelhaffez, H. H. and Zahran, E., 2025. Harnessing the fish gut microbiome and immune system to enhance disease resistance in aquaculture. *Fish & Shellfish Immunology,* 163, 110394. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2025.110394

Fachri, M., Amoah, K., Huang, Y., Cai, J., Alfatat, A., Ndandala, C. B., Shija, V. M., Jin, X., Bissih, F. and Chen, H. (2024). Probiotics and paraprobiotics in aquaculture: A sustainable strategy for enhancing fish growth, health and disease prevention—a review. *Frontiers in Marine Science,* 11, 1499228. https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1499228

Gupta, S., Vera-Ponce de León, A., Kodama, M., Hoetzinger, M., Clausen, C. G., Pless, L., Verissimo, A. R. A., Stengel, B., Calabuig, V., Kvingedal, R., Skugor, S., Westereng, B., Harvey, T. N., Nordborg, A., Bertilsson, S., Limborg, M. T., Mørkøre, T., Sandve, S. R., Pope, P. B., Hvidsten, T. R. and La Rosa, S. L., 2024. The need for high-resolution gut microbiome characterization to design efficient strategies for sustainable aquaculture production. *Communications Biology,* 7, 1391. https://doi.org/10.1038/s42003-024-07087-4

Hoseinifar, S. H., Maradonna, F., Faheem, M., Harikrishnan, R., Devi, G., Ringø, E., Van Doan, H., Ashouri, G., Gioacchini, G. and Carnevali, O., 2023. Sustainable ornamental fish aquaculture: The implication of microbial feed additives. *Animals,* 13(10), 1583. https://doi.org/10.3390/ani13101583

Hoseinifar, S. H., Faheem, M., Liaqat, I., Van Doan, H., Ghosh, K. and Ringø, E., 2024. Promising probiotic candidates for sustainable aquaculture: An updated review. *Animals,* 14(24), 3644. https://doi.org/10.3390/ani14243644

Kanika, N. H., Liaqat, N., Chen, H., Ke, J., Lu, G., Wang, J. and Wang, C., 2025. Fish gut microbiome and its application in aquaculture and biological conservation. *Frontiers in Microbiology,* 15, 1521048. https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1521048

Luan, Y., Li, M., Zhou, W., Yao, Y., Yang, Y., Zhang, Z., Ringø, E., Olsen, R. E., Liu Clarke, J., Xie, S., Mai, K., Ran, C. and Zhou, Z., 2023. The fish microbiota: Research progress and potential applications. *Engineering,* 29, 137–146. https://doi.org/10.1016/j.eng.2022.12.011

Smith, K. F., Schmidt, V., Rosen, G. E. and Amaral-Zettler, L. A., 2012. Microbial diversity and potential pathogens in ornamental fish aquarium water. *PLoS ONE,* 7(9), e39971. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039971

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.22034/JOA.13.3.41]

Tayyab, M., Zhao, Y. and Zhang, Y., 2025. Microbiome engineering to enhance disease resistance in aquaculture: Current strategies and future directions. *Frontiers in Microbiology,* 16, 1625265. https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1625265

Torres-Maravilla, E., Parra, M., Maisey, K., Vargas, R. A., Cabezas-Cruz, A., Gonzalez, A., Tello, M. and Bermúdez-Humarán, L. G., 2024. Importance of probiotics in fish aquaculture: Towards the identification and design of novel probiotics. *Microorganisms,* 12(3), 626. https://doi.org/10.3390/microorganisms12030626

Xavier, R., Severino, R. and Silva, S. M., 2024. Signatures of dysbiosis in fish microbiomes in the context of aquaculture. *Reviews in Aquaculture,* 16(2), 706–731. https://doi.org/10.1111/raq.12862

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.22034/JOA.13.3.41]

The ornamental fish microbiome: Associations with health, disease resistance, and sustainable aquaculture

Fallahi R.[1*]; Faezi M.R.[1]; Aleali G.[1;] Alealizadeh F.[1]

*Roxana.fallahi@gmail.com

1-Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Abstract

The ornamental fish microbiome is an emerging area of aquaculture research with potentially important implications for fish health, disease prevention, animal welfare, and the sustainability of production and husbandry systems. Microbial communities associated with the intestine, skin, gills, and surrounding aquatic environment interact with the host and with one another, potentially influencing nutrient metabolism, mucosal barrier integrity, immune response regulation, and susceptibility to pathogens. These interactions are particularly important in ornamental fish, as high stocking densities, transportation, handling, dietary changes, and fluctuations in water quality can affect the physiological and microbial balance of the system.

This article examines the composition and functions of the ornamental fish microbiome, the factors influencing its development, the potential mechanisms linking the microbiome to health and disease resistance, and the applications of probiotics, prebiotics, synbiotics, paraprobiotics, and other microbiome-based interventions. The roles of microbial communities in aquarium water and on aquarium surfaces, environmental stressors, and exposure to antimicrobial agents are also considered. Recent evidence indicates that host species, habitat, diet, and rearing conditions are important determinants of microbiome structure, with substantial differences observed among species and even between wild and farmed fish. Advances in sequencing technologies, metagenomics, and multi-omics approaches offer opportunities for more precise health monitoring and the development of preventive strategies. However, microbial diversity alone is not a definitive or universally applicable indicator of health, and an observed association between microbiome alterations and disease does not necessarily establish a causal relationship. Achieving reliable practical applications requires the development of species-specific reference profiles, standardization of sampling and analytical methods, longitudinal studies, controlled pathogen-challenge trials, and rigorous biosafety assessments. Overall, integrating microbiome research with established principles of husbandry, biosecurity, appropriate nutrition, and water quality management can contribute to improved ornamental fish health and the development of preventive and environmentally responsible aquaculture practices.

Keywords: Ornamental fish, Microbiome, Gut microbiota, Mucosal immunity, Disease resistance, Probiotics, dysbiosis, Aquarium microbiology, Sustainable aquaculture

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.22034/JOA.13.3.41]