



مقاله مروری:

معرفی کنسرسیوم باکتریایی جهت استفاده در صنعت آبزی پروری

سجاد پورمظفر^۱، محسن گذری^{۲*}، سعید تمدنی جهرمی^۲، محمدرضا زاهدی^۲

* m_gozari@yahoo.com

- ۱- ایستگاه تحقیقات نرمتنان خلیج فارس، پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرلنگه، ایران.
- ۲- پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران.

تاریخ پذیرش: تیر ۱۴۰۲

تاریخ دریافت: فروردین ۱۴۰۲

چکیده

پروبیوتیک‌ها یکی از موثرترین روش‌ها برای جایگزینی آنتی‌بیوتیک درمانی هستند. کیفیت آبزیان را می‌توان با استفاده از محصولات پروبیوتیک به طرق مختلف افزایش داد. انتخاب صحیح پروبیوتیک‌ها بسیار مهم است زیرا میکروارگانیسم‌های نامناسب می‌توانند اثرات منفی بر میزبان داشته باشند. کنسرسیوم میکروبی از چندین گونه سازگار با یکدیگر با فعالیت‌های متفاوت تشکیل شده است. کنسرسیوم میکروبی نه تنها ترکیبی از سویه‌های مختلف است بلکه از جمعیت‌های مختلفی از میکروارگانیسم‌ها تشکیل شده است که با یکدیگر تعامل دارند. از مزیت کنسرسیوم باکتریایی، سنتز مولکول‌های پیچیده همچون آنزیم‌های خارج سلولی است. استفاده از کنسرسیوم پروبیوتیک ضمن ارائه همزمان چندین عملکرد مفید در یک محصول، به عنوان نسل جدیدی از فرآورده‌های پروبیوتیک محسوب می‌گردد. در این زمینه درک میانکنش‌های موجود میان اعضاء کنسرسیوم و دینامیک جمعیت‌های موجود برای طراحی یک کنسرسیوم میکروبی با کاربرد صنعتی ضروری است.

کلمات کلیدی: آنتی‌بیوتیک، پروبیوتیک، کنسرسیوم پروبیوتیک

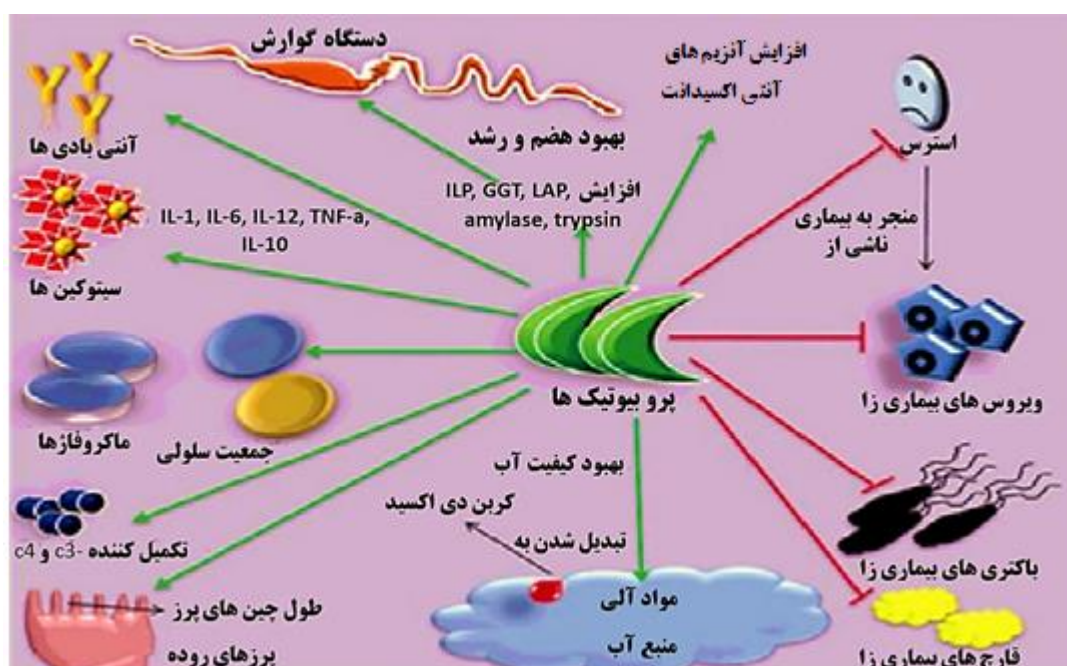
مقدمه

مطالعه سعی بر آن شده است تا کنسرسيوم پروبیوتیک در صنعت آبی‌پروری به عنوان یک راهکار دوستدار محیط زیست جهت جلوگیری از شیوع و گسترش بیماری‌ها مطرح شود.

نقش پروبیوتیک‌ها در صنعت آبی‌پروری

پروبیوتیک‌ها میکروب‌های زنده‌ای هستند که در صورت استفاده به مقدار کافی منجر به بهبود هضم، رشد و سلامتی در موجودات زنده می‌شود. ابتدا آقای فولر کلمه پروبیوتیک را به عنوان مکمل غذایی میکروبی که موجب تقویت و بهبود تعادل میکروبی در روده میزبان می‌شود، تعریف نمود (Wang et al., 2019). امروزه از پروبیوتیک‌ها به عنوان ابزار مهم در تغذیه و مدیریت سلامت آبزیان در سیستم‌های متراکم استفاده می‌شود (Opiyo, 2020). پروبیوتیک‌ها دارای دامنه فعالیت مشترکی هستند که نقش مهمی در بهبود پاسخ‌های ایمنی و فیزیولوژیک موجود زنده ایفاء می‌کنند. پروبیوتیک‌ها با تغییر فلور میکروبی روده، نقش مؤثری در افزایش ترشح آنزیم‌ها و هضم و جذب ماده غذایی ایفاء می‌کنند که در نتیجه منجر به افزایش رشد در آبی می‌گردند. به علاوه، با تحریک سیستم ایمنی، باعث افزایش مقاومت به عوامل بیماری‌زا می‌شود که در نتیجه افزایش بقاء را به دنبال دارد (Yang et al., 2019; Tang et al., 2020). پروبیوتیک‌های رایجی که در آبی‌پروری استفاده می‌شوند از خانواده باکتری‌های گرم مثبت به خصوص باکتری‌های اسید لاکتیک (*Lactobacillus* و *Carnobacterium*) (Wei et al., 2022) *Bacillus*، (Llario et al., 2019; Hasan and Banerjee, 2020; Chen et al., 2021) *Streptococcus*، (Banerjee, 2020; Chen et al., 2021) *Pediococcus*، (Giri et al., 2013) و *Bifidobacterium* (Hasan and Banerjee, 2020) هستند، هر چند سوبه‌های خاصی از باکتری‌های گرم منفی شامل *Vibrio*، *Pseudomonas*، *Plesiomonas* و *Aeromonas* (Hasan and Banerjee, 2020) نیز به عنوان پروبیوتیک استفاده شده‌اند. فرآورده‌های پروبیوتیک به عنوان یک مکمل میکروبی زنده با مکانیسم‌های مختلف، تاثیرات قابل توجهی در ارتقاء کیفی تولید آبزیان اعمال می‌نمایند. این تاثیرات حیاتی شامل اصلاح جامعه میکروبی وابسته به میزبان یا پیرامون آن، تضمین استفاده بهینه از مواد غذایی یا افزایش ارزش غذایی آن، تقویت پاسخ میزبان به بیماری و بهبود کیفیت محیط پیرامون میزبان هستند (Midhun et al., 2023) (شکل ۱).

آبی‌پروری بیشترین رشد را در صنایع غذایی به خود اختصاص داده است به طوری که براساس آخرین آمار ارائه شده، میزان رشد این بخش به حدود ۶ درصد می‌رسد (Awad and Awaad, 2017; Edwards et al., 2019). در حال حاضر، بیش از ۹۵ درصد تولیدات آبی‌پروری در کشورهای پیشرفته انجام می‌گیرد (Tacon, 2020). رشد سریع، کارایی تغذیه و افزایش مقاومت در برابر بیماری‌ها، از اهداف مهم صنعت آبی‌پروری محسوب می‌شود. پرورش سخت‌پوستان سومین صنعت بزرگ در آبی‌پروری است به طوری که تولید سالانه به حدود ۱۱/۳ میلیون تن در سال ۲۰۲۰ می‌رسد (FAO, 2022). افزایش تراکم منجر به افزایش تولید و رهاسازی بیشتر مواد مغذی بیشتر در محیط‌زیست می‌شود (Naylor et al., 2021). از این رو، احتمال بروز استرس و کاهش پاسخ‌های ایمنی افزایش پیدا می‌کند. برای مثال، در تایلند شیوع بیماری طی سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۱۰ منجر به زیان اقتصادی ۷/۳۸ میلیارد دلاری گردید (Shinn et al., 2018). برای جلوگیری از شیوع بیماری‌ها، پرورش‌دهندگان اقدام به استفاده گسترده از مواد شیمیایی همچون آنتی‌بیوتیک‌ها می‌کنند (Adel et al., 2015). براساس برآوردهای انجام گرفته، به طور متوسط میزان استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها به ازاء هر تن محصولات آبی‌پروری ۷۰۰-۲۰۰ گرم است (Ng et al., 2009)؛ این رقم در کشور تایلند نیز به ۶۰۰-۵۰۰ گرم به ازاء هر تن می‌رسد. آمریکای شمالی و ژاپن با وضع قوانین سخت‌گیرانه تنها اجازه استفاده از تعداد اندکی از آنتی‌بیوتیک‌ها را داده است (Defoirdt et al., 2011). استفاده بی‌رویه از آنتی‌بیوتیک‌ها به عنوان راهکاری برای مقابله با بیماری، تاثیرات منفی شدیدی بر محیط زیست گذاشته و موجب ایجاد مقاومت در باکتری‌های آبی و افزایش تغییرات فلور میکروبی در اکوسیستم آبی‌پروری شده است. واکسیناسیون یکی درگیر از ابزار مؤثر پیشگیری از بیماری‌ها در صنعت آبی‌پروری بوده، اما واکسن‌های تجاری بسیار گران با عملکرد اختصاصی و کم اثر در سخت‌پوستان است (Pourmzaffar et al., 2019). استفاده از پروبیوتیک‌ها به یکی از کاراترین استراتژی‌ها برای جایگزینی استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها مطرح است. زیرا آنها موجب افزایش رشد، بهبود وضعیت آبی و استخر و در نهایت از بروز و شیوع بسیاری از بیماری‌ها جلوگیری می‌کنند (Wang et al., 2019). در این



شکل ۱: اثرات مفید کلی پروبیوتیک در آبی‌پروری. پیکان سبز: اثرات افزایشی. خطوط قرمز: اثر مہاری (Jamal et al., 2019)

به صورت ترکیبی استفاده شوند، باید مکمل یکدیگر باشند و بتوانند جایگاه‌های مختلفی را در محیط روده میزبان اشغال کنند.

ملاحظات و تهدیدات استفاده از پروبیوتیک غیر بومی

پیامدهای استفاده از فراورده‌های تجاری پروبیوتیک غیر بومی ابعاد متفاوتی را در برمی‌گیرد. مطالعات مختلف، تاثیرات منفی ورود گونه‌های غیر بومی را به سیستم گوارش ارگانیسم هدف نشان داده‌اند. از جمله این تاثیرات، بروز تغییراتی نامطلوب در میکروفلور طبیعی روده است که می‌تواند در کوتاه‌مدت یا بلندمدت موجب وقوع سندرم‌های متابولیک، بیماری‌های خود ایمنی و سایر ناهنجاری‌ها گردد (Barzegari et al., 2014; Goh et al., 2022; Liao, 2023). برخی سویه‌های غیر بومی منشأ خشکی دارند، از قبیل برخی از گونه‌های *Lactobacillus* و استقرار و تکثیر آنها در دستگاه گوارش آبزیان دشوار است. از این‌رو، نمی‌توانند عملکرد مفید خود را ارائه دهند. تغذیه با چنین پروبیوتیک‌هایی ممکن است با آب و میکروبیوم روده آبی‌پروری تداخل دارند و در عملکرد سیستم گوارشی آبی‌پروری، اختلال ایجاد کند. از لحاظ زیست‌محیطی نیز ورود گونه‌های غیر بومی میکروارگانیسم‌ها به اکوسیستم آبی‌پروری

انتخاب صحیح پروبیوتیک‌ها امری بسیار حیاتی است. زیرا میکروارگانیسم‌های نامناسب می‌توانند منجر به اثرات نامطلوب در میزبان شوند. یک پروبیوتیک ایده‌آل، صرف‌نظر از منبع آن، باید قادر به تشکیل کلونی، استقرار و تکثیر در روده میزبان باشد. به طور کلی، پروبیوتیک‌های بومی (درون‌زا) شانس بیشتری برای رقابت با میکروب‌های موجود در دستگاه گوارش میزبان دارند و در مدت کوتاهی پس از مصرف در دستگاه گوارش یا محیط پرورش میزبان تشکیل کلونی داده (Lazado et al., 2015) و جمعیت غالب را تشکیل می‌دهند و بعد از قطع مصرف نیز برای مدتی در محیط کولون دستگاه گوارش میزبان باقی می‌مانند (Carnevali et al., 2004).

بر اساس تحقیقات قبلی، ثابت شده است که پروبیوتیک‌های چند سویه (MSP)^۱ برای میزبان مفیدتر از یک پروبیوتیک منفرد (SSP)^۲ در جنبه‌های خاص هستند. پروبیوتیک‌های چند سویه که می‌توان آنها را به عنوان ترکیب‌های پروبیوتیک یا پروبیوتیک مختلط نیز نامید، از مخلوطی از دو یا چند سویه یا گونه‌های باکتریایی تشکیل شده‌اند. پروبیوتیک‌های چند گونه‌ای مؤثرترین پروبیوتیک در تحریک ایمنی موضعی روده نیز محسوب می‌شوند (Salinas et al., 2008). با این حال، پروبیوتیک‌های مختلف اگر

^۱ Multi-strain probiotic (MSP)

^۲ Single-strain probiotic (SSP)

می‌تواند تعادل اکوسیستم را مختل نموده و عواقب زیست‌محیطی ایجاد نماید (Rhodes *et al.*, 2023). میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک بومی قدرت بقاء^۳ بالایی دارند و شرایط محیط و سیستم گوارش آبی را تحمل می‌کنند. این میکروارگانیسم‌های بومی به دلیل بهره‌مندی از یک متابولیسم سازگار یافته با شرایط اکوسیستم، بیشترین کارایی را در تجزیه مواد آلی موجود در محیط، میانکنش با میکروفلور طبیعی آبی و پیرامون آن و میکروارگانیسم‌های بیماری‌زای محیط ارائه خواهد نمود. تجمع این ویژگی‌های اکتسابی در میکروارگانیسم بومی طی تکامل در اکوسیستم یک منطقه ایجاد می‌شود و برتری قابل توجهی را برای آنها نسبت به گونه‌های غیر بومی تجاری فراهم می‌آورد (Dawood *et al.*, 2019). امروزه میکروارگانیسم‌های بومی در پژوهش‌های بیوتکنولوژیک کاربرد گسترده‌ای دارند. با توجه به سازگاری این ارگانیسم‌ها به شرایط فیزیولوژیک و بیوشیمیایی زیستگاه در مقیاس آزمایشگاهی و میدانی، شانس عملکرد موفق آنها افزایش می‌یابد.

کنسرسیوم باکتریایی

کنسرسیوم میکروبی از چندین گونه سازگار با یکدیگر با فعالیت‌های متفاوت تشکیل شده است. گونه‌ها از گروه‌های ژنتیکی متنوع انتخاب می‌شوند تا از توانایی سازگاری با تغییرات در شرایط محیطی برخوردار باشند (Bradáčová *et al.*, 2019). کنسرسیوم میکروبی تنها مخلوطی از چند سویه نیست بلکه متشکل از جمعیت‌های متنوعی از میکروارگانیسم‌های دارای میانکنش‌های متقابل است و هر مجموعه از اجزاء کنسرسیوم در تعامل با سایر اجزاء، یک واکنش کلیدی را در مجموعه کنترل می‌کند. از این‌رو، به عنوان بخشی کلیدی از راه‌حل بسیاری از چالش‌های تکنولوژیک و محیطی پیشنهاد شده‌اند (Bernstein and Carlson, 2014).

کنسرسیوم باکتریایی در زیستگاه‌های طبیعی مختلف نظیر روده پستانداران، غذا، خاک، آب و زباله‌ها یافت می‌شود (Padmaperuma *et al.*, 2018). در طبیعت، باکتری‌های آزاد در جوامع میکروبی زندگی می‌کنند و روابط پیچیده‌ای را با سایر گونه‌ها ایجاد کرده‌اند. بنابراین، کنسرسیوم باکتریایی نسبت به گونه‌های جداسازی شده، رفتار فیزیولوژیک نزدیک‌تری با سویه‌های موجود در طبیعت دارد. از دیگر مزیت کنسرسیوم

باکتریایی سنتز مولکول‌های پیچیده همچون آنزیم‌های خارج سلولی است. این ترکیبات پیچیده حاصل همکاری چندین سویه باکتریایی است در حالی که یک گونه تنها متابولیت‌های مربوط به رشد را تولید می‌کند (García-Jiménez *et al.*, 2018).

در سالیان اخیر مطالعات زیادی پیرامون استفاده از کنسرسیوم باکتریایی به منظور غلبه بر محدودیت‌های استفاده از کشت خالص و سازگاری به بسترهای پیچیده انجام گرفته است. کنسرسیوم‌ها نقش مهمی در بهبود شرایط زیست‌محیطی و تولید انرژی (تصفیه فاضلاب با لجن فعال و تولید گاز زیستی)، ایفاء می‌کنند (Jiang *et al.*, 2017). از دیگر مزیت کنسرسیوم می‌توان به مقاومت بالاتر نسبت به تهاجم سایر گونه‌های میکروبی اشاره کرد. همچنین زیر جمعیت، جمعیت‌های میکروبی به دلیل تولید متابولیت‌های ضروری، از مقاومت بیشتری در زمان محرومیت‌های غذایی برخوردارند (Smith *et al.*, 2013). به علاوه، کنسرسیوم باکتریایی از طریق ایجاد رقابت و تولید متابولیت‌ها، مانع از رشد باکتری‌های بیماری‌زا می‌شود (Antwis and Harrison, 2018). کارایی، توانمندی و هماهنگی بیشتر در کنسرسیوم‌های میکروبی برتری آنها را نسبت به گونه‌های منفرد موجب گردیده است. هر یک از اجزاء کنسرسیوم یک واکنش کلیدی را در مجموعه انجام می‌دهند. این تقسیم کار سازمان‌یافته و برقراری میانکنش‌های مفید، امکان مهندسی و بهینه‌سازی سویه‌های موجود در کنسرسیوم را به صورت مجزا و بدون تداخل میانکنش‌های مزاحم فراهم می‌سازد. دیگر مزیت کنسرسیوم‌های میکروبی، تقسیم مسیره‌های بیوشیمیایی در سویه‌های مختلف در راستای رسیدن به اهداف و عملکرد پیش‌بینی شده است. زیرا بهینه‌سازی یک مسیر بیوشیمیایی در چندین سویه دارای پیچیدگی کمتری نسبت به بهینه‌سازی چندین مسیر بیوشیمیایی در یک سویه است (Faust, 2019).

چشم‌انداز استفاده از کنسرسیوم پروبیوتیک در آبی‌پروری

تمامی محصولات پروبیوتیک بر اساس به‌کارگیری یک گونه یا مخلوط چند گونه عمل می‌نمایند. بسیاری از این محصولات چون میکروارگانیسم مؤثر از موقعیت اکولوژیک خود جدا شده و میانکنش‌های آن با جامعه خود قطع گردیده است، با حداکثر کارایی عمل نمی‌کنند (Bradáčová *et al.*, 2019). از این‌رو، مطالعات جدید بر استفاده از کنسرسیوم‌های میکروبی تمرکز

³ Survivability

منابع

- Adel, M., Amiri, A.A., Zorriehzakra, J., Nematollahi, A. and Esteban, M.Á., 2015.** Effects of dietary peppermint (*Mentha piperita*) on growth performance, chemical body composition and hematological and immune parameters of fry Caspian white fish (*Rutilus frisii kutum*). *Fish & Shellfish Immunology*, 45, pp. 841–847. DOI:10.1016/j.fsi.2015.06.010
- Antwis, R.E. and Harrison, X.A., 2018.** Probiotic consortia are not uniformly effective against different amphibian chytrid pathogen isolates. *Molecular Ecology*, 27, pp. 577–589. DOI:10.1111/mec.14456
- Awad, E. and Awaad, A., 2017.** Role of medicinal plants on growth performance and immune status in fish. *Fish & shellfish immunology*, 67, pp.40-54. DOI:10.1016/j.fsi.2017.05.034.
- Bacellar Mendes, L.B. and Vermelho, A.B., 2013.** Allelopathy as a potential strategy to improve microalgae cultivation. *Biotechnology for Biofuels*, 6(1), pp.1-14. DOI: 10.1186/1754-6834-6-152
- Banerjee, S., Khatoon, H., Shariff, M. and Yusoff, F.M., 2010.** Enhancement of *Penaeus monodon* shrimp post larvae growth and survival without water exchange using marine *Bacillus pumilus* and periphytic microalgae. *Fisheries Science*, 76, pp. 481–487. DOI:10.1007/s12562-010-0230-x
- Barzegari, A., Eslami, S., Ghabeli, E. and Omid, Y., 2014.** Imposition of encapsulated non-indigenous probiotics into intestine may disturb human core microbiome. *Frontiers in Microbiology*, 5, 393P. DOI:10.3389/fmicb.2014.00393

یافته است. استفاده از کنسرسیوم، میکروارگانسیم‌ها ضمن ارائه همزمان چندین عملکرد مفید در یک محصول، به عنوان نسل جدیدی از فرآورده‌های پروبیوتیک محسوب می‌گردد. در دهه اخیر استفاده از کنسرسیوم پروبیوتیک‌های مهندسی شده بسیار مورد توجه قرار گرفته و در سطح جهانی مطرح شده است (Wang *et al.*, 2019). با این حال، تاکنون مطالعات اندکی در خصوص شناسایی و به‌کارگیری کنسرسیوم‌های باکتریایی در موجودات آبی انجام گرفته است. Blasiak و همکاران (۲۰۱۴) و Martínez-Córdova و همکاران (۲۰۱۷) به ترتیب اقدام به بررسی تنوع باکتریایی در سیستم پرورش میگو و آبدزدک دریایی (*Ciona intestinalis*) کردند (Blasiak *et al.*, 2014; Martínez-Córdova *et al.*, 2017). همچنین محققان اقدام به تولید انبوه و استفاده از کنسرسیوم باکتریایی با هدف جذب مواد زائد نیتروژنی در سیستم‌های مدار بسته پرورش میگو کردند (Rejish Kumar *et al.*, 2009; Banerjee *et al.*, 2010).

طراحی و مهندسی کنسرسیوم‌های میکروبی، پیچیدگی‌ها و محدودیت‌های ویژه‌ای دارد. از این‌رو، لزوم شناسایی و رعایت چارچوب‌ها و پارادایم‌های آن احساس می‌شود (Kumar *et al.*, 2016; Revuelta *et al.*, 2016; Dvořák *et al.*, 2017). در این زمینه درک میانکنش‌های موجود میان اعضاء کنسرسیوم و دینامیک جمعیت‌های موجود برای طراحی یک کنسرسیوم میکروبی با کاربرد صنعتی ضروری است. شناسایی ترکیبات شیمیایی خارج سلولی شامل متابولیت‌های اولیه و ثانویه موثر تولیدی از سویه‌های درون یک کنسرسیوم، چشم‌اندازی از امکان تولید کنسرسیوم را مهیا می‌نماید (Bacellar Mendes and Vermelho, 2013; Netzker *et al.*, 2015). تولید فرآورده‌ای متشکل از چندین جمعیت و گونه برای کاربرد بیوتکنولوژیک خاص، مستلزم درک و طراحی دقیقی از میکروارگانسیم‌های دخیل بر اساس شناختی عمیق از میانکنش‌ها، دینامیک و اکولوژی میکروارگانسیم‌های بومی است. در نظر گرفتن تاثیرات کنسرسیوم پروبیوتیک بر میکروبیوم دستگاه گوارش آبی نیز از دیگر متغیرهای مورد نیاز در روند تولید کنسرسیوم میکروبی است. از این‌رو، باید درکی عمیق از میکروبیوم روده آبی وجود داشته باشد.

- Bernstein, H.C. and Carlson, R.P., 2014.** Design, construction, and characterization methodologies for synthetic microbial consortia. *Engineering and Analyzing Multicellular Systems: Methods and Protocols*, pp.49-68. DOI:10.1007/978-1-4939-0554-6_4
- Blasiak, L.C., Zinder, S.H., Buckley, D.H. and Hill, R.T., 2014.** Bacterial diversity associated with the tunic of the model chordate *Ciona intestinalis*. *ISME Journal*, 8, pp. 309–320. DOI: 10.1038/ismej.2013.156
- Bradáčová, K., Florea, A.S., Bar-Tal, A., Minz, D., Yermiyahu, U., Shawahna, R., Kraut-Cohen, J., Zolti, A., Erel, R., Dietel, K., Weinmann, M., Zimmermann, B., Berger, N., Ludewig, U., Neumann, G. and Pošta, G., 2019.** Microbial consortia versus single-strain inoculants: An advantage in PGPM-assisted tomato production? *Agronomy*, 9, pp. 1–23. DOI:10.3390/agronomy9020105
- Carnevali, O., Zamponi, M.C., Sulpizio, R., Rollo, A., Nardi, M., Orpianesi, C., Silvi, S., Caggiano, M., Polzonetti, A.M. and Cresci, A., 2004.** Administration of probiotic strain to improve sea bream wellness during development. *Aquaculture International*, 12, pp. 377–386. DOI:10.1023/B:AQUI.0000042141.85977.bb
- Chen, L., Lv, C., Li, B., Zhang, H., Ren, L., Zhang, Q., Zhang, X., Gao, J., Sun, C. and Hu, S., 2021.** Effects of *Bacillus velezensis* supplementation on the growth performance, immune responses, and intestine microbiota of *Litopenaeus vannamei*. *Frontiers in Marine Science*, 8, pp. 1–13. DOI:10.3389/fmars.2021.744281
- Dawood, M.A., Koshio, S., Abdel-Daim, M.M. and Van Doan, H., 2019.** Probiotic application for sustainable aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), pp.907-924. DOI:10.1111/raq.12272
- Defoirdt, T., Sorgeloos, P. and Bossier, P., 2011.** Alternatives to antibiotics for the control of bacterial disease in aquaculture. *Current Opinion in Microbiology*, 14, pp. 251–258. DOI:10.1016/j.mib.2011.03.004.
- Dvořák, P., Nikel, P.I., Damborský, J. and de Lorenzo, V., 2017.** Bioremediation 3.0: engineering pollutant-removing bacteria in the times of systemic biology. *Biotechnology Advances*, 35(7), pp.845-866. DOI:10.1016/j.biotechadv.2017.08.001
- Edwards, P., Zhang, W., Belton, B. and Little, D.C., 2019.** Misunderstandings, myths and mantras in aquaculture: Its contribution to world food supplies has been systematically over reported. *Marine Policy*, 106, p.103547. DOI:10.1016/j.marpol.2019.103547.
- FAO, 2022.** The state of world fisheries and aquaculture 2020. Rome, Italy. 266 P.
- Faust, K., 2019.** Microbial consortium design benefits from metabolic modeling. *Trends in Biotechnology*, 37(2), pp.123-125. DOI:10.1016/j.tibtech.2018.11.004
- García-Jiménez, B., García, J.L. and Nogales, J., 2018.** FLYCOP: Metabolic modeling-based analysis and engineering microbial communities. *Bioinformatics*, 34, pp. i954–i963. DOI:10.1093/bioinformatics/bty561
- Giri, S.S., Sukumaran, V. and Oviya, M., 2013.** Potential probiotic *Lactobacillus plantarum* VSG3 improves the growth, immunity, and disease resistance of tropical freshwater fish, *Labeo rohita*. *Fish & Shellfish Immunology*, 34, pp. 660–666. DOI:10.1016/j.fsi.2012.12.008.

- Goh, J.X.H., Tan, L.T.H., Law, J.W.F., Ser, H.L., Khaw, K.Y., Letchumanan, V., Lee, L.H. and Goh, B.H., 2022.** Harnessing the potentialities of probiotics, prebiotics, synbiotics, paraprobiotics, and postbiotics for shrimp farming. *Reviews in Aquaculture*, 14(3), pp.1478-1557. DOI:10.1111/raq.12659
- Hasan, K.N. and Banerjee, G., 2020.** Recent studies on probiotics as beneficial mediator in aquaculture: a review. *The Journal of Basic and Applied Zoology*, 81, pp. 1–16. DOI:10.1186/s41936-020-00190-y
- Jamal, M.T., Abdulrahman, I.A., Al Harbi, M. and Chithambaran, S., 2019.** Probiotics as alternative control measures in shrimp aquaculture: A review. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 7(3), pp.69-77. DOI:10.1016/B978-0-12-822909-5.00020-4
- Jiang, L.L., Zhou, J.J., Quan, C.S. and Xiu, Z.L., 2017.** Advances in industrial microbiome based on microbial consortium for biorefinery. *Bioresources and Bioprocessing*, 4, pp. 1–10. DOI:10.1186/s40643-017-0141-0
- Kumar, V., Roy, S., Meena, D.K. and Sarkar, U.K., 2016.** Application of probiotics in shrimp aquaculture: importance, mechanisms of action, and methods of administration. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 24(4), pp.342-368. DOI:10.1080/23308249.2016.1193841
- Lazado, C.C., Caipang, C.M.A. and Estante, E.G., 2015.** Prospects of host-associated microorganisms in fish and penaeids as probiotics with immunomodulatory functions. *Fish & Shellfish Immunology*, 45(1), pp.2-12. DOI:10.1016/j.fsi.2015.02.023
- Liao, Y.K., 2023.** Shrimp in labs: Biosecurity and hydro-social life. *Environment and Planning E: Nature and Space*, p. 25148486231174302. DOI:10.1177/25148486231174302
- Llarío, F., Falco, S., Sebastián-Frasquet, M.T., Escrivá, J., Rodilla, M. and Poersch, L.H., 2019.** The role of *Bacillus amyloliquefaciens* on *Litopenaeus vannamei* during the maturation of a biofloc system. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7, pp. 1–17. DOI:10.3390/jmse7070228
- Martínez-Córdova, L.R., Martínez-Porchas, M., Porchas-Cornejo, M.A., Gollas-Galván, T., Scheuren-Acevedo, S., Arvayo, M.A., López-Eliás, J.A. and López-Torres, M.A., 2017.** Bacterial diversity studied by next-generation sequencing in a mature phototrophic *Navicula* Sp-based biofilm promoted into a shrimp culture system. *Aquaculture Research*, 48, pp. 2047–2054. DOI:10.1111/are.13037
- Midhun, S.J., Arun, D. and Jyothis, M., 2023.** Probiotic application of beneficial bacteria for improved health and disease control. In *Recent Advances in Aquaculture Microbial Technology* (pp. 275-289). *Academic Press*. DOI:10.1016/B978-0-323-90261-8.00002-X
- Naylor, R.L., Hardy, R.W., Buschmann, A.H., Bush, S.R., Cao, L., Klinger, D.H., Little, D.C., Lubchenco, J., Shumway, S.E. and Troell, M., 2021.** A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*, 591, pp. 551–563. DOI: 10.1038/s41586-021-03308-6.
- Netzker, T., Fischer, J., Weber, J., Mattern, D.J., König, C.C., Valiante, V., Schroeckh, V. and Brakhage, A.A., 2015.** Microbial communication leading to the activation of silent fungal secondary metabolite gene clusters. *Frontiers in Microbiology*, 6, 299P. DOI:10.3389/fmicb.2015.00299

- Ng, W.K., Koh, C.B., Sudesh, K. and Siti-Zahrah, A., 2009. Effects of dietary organic acids on growth, nutrient digestibility and gut microflora of red hybrid tilapia, *Oreochromis* sp., and subsequent survival during a challenge test with *Streptococcus agalactiae*. *Aquaculture Research*, 40, pp. 1490–1500. DOI:10.1111/j.1365-2109.2009.02249.x
- Opiyo, M., 2020. Effects of probiotics on growth, flesh quality and hematoimmunological status of cultured Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Kirinyaga County, Kenya. Kenyatta University, (PhD dissertation).
- Padmaperuma, G., Kapoore, R.V., Gilmour, D.J. and Vaidyanathan, S., 2018. Microbial consortia: a critical look at microalgae co-cultures for enhanced biomanufacturing. *Critical Reviews in Biotechnology*, 38, pp. 690–703. DOI:10.1080/07388551.2017.1390728
- Pourmozaffar, S., Hajimoradloo, A., Paknejad, H. and Rameshi, H., 2019. Effect of dietary supplementation with apple cider vinegar and propionic acid on hemolymph chemistry, intestinal microbiota and histological structure of hepatopancreas in white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish and Shellfish Immunology*, 86, pp. 900–905. DOI:10.1016/j.fsi.2018.12.019
- Rejish Kumar, V.J., Achuthan, C., Manju, N.J., Philip, R. and Bright Singh, I.S., 2009. Mass production of nitrifying bacterial consortia for the rapid establishment of nitrification in saline recirculating aquaculture systems. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25, pp. 407–414. DOI:10.1007/s11274-008-9905-1
- Revuelta, J.L., Buey, R.M., Ledesma-Amaro, R. and Vandamme, E.J., 2016. Microbial biotechnology for the synthesis of (pro) vitamins, biopigments and antioxidants: challenges and opportunities. *Microbial Biotechnology*, 9(5), pp.564-567. DOI:10.1111/1751-7915.12379
- Rhodes, L.D., Parrish, K.L. and Rub, M.W., 2023. Scientific support for health management and biosecurity for marine aquaculture in the United States. DOI:10.25923/55c9-ts52
- Salinas, I., Abelli, L., Bertoni, F., Picchiatti, S., Roque, A., Furones, D., Cuesta, A., Meseguer, J. and Esteban, M.Á., 2008. Monospecies and multispecies probiotic formulations produce different systemic and local immunostimulatory effects in the gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Fish & Shellfish Immunology*, 25, pp. 114–123. DOI:10.1016/j.fsi.2008.03.011
- Shinn, A.P., Pratoomyot, J., Griffiths, D., Trong, T.Q., Vu, N.T., Jiravanichpaisal, P. and Briggs, M., 2018. Asian shrimp production and the economic costs of disease. *Asian Fisheries Science*, 31, pp.29-58. DOI:10.33997/j.afs.2018.31.S1.003
- Smith, R.P., Tanouchi, Y. and You, L., 2013. Synthetic microbial consortia and their applications, First Edit. ed, *Synthetic Biology*. Elsevier Inc. DOI:10.1016/B978-0-12-394430-6.00013-3
- Tacon, A.G., 2020. Trends in global aquaculture and aquafeed production: 2000–2017. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(1), pp.43-56. DOI:10.1080/23308249.2019.1649634.
- Tang, S., Liu, S., Zhang, J., Zhou, L., Wang, X., Zhao, Q., Weng, W., Qin, J.G., Chen, L. and Li, E., 2020. Relief of hypersaline stress in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* by dietary supplementation of a host-derived *Bacillus subtilis* strain. *Aquaculture*, 528, pp. 735542. DOI:10.1016/j.aquaculture.2020.735542

Wang, Y.C., Hu, S.Y., Chiu, C.S. and Liu, C.H., 2019. Multiple-strain probiotics appear to be more effective in improving the growth performance and health status of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, than single probiotic strains. *Fish & Shellfish Immunology*, 84, pp. 1050–1058. DOI:10.1016/j.fsi.2018.11.017

Wanna, W., Surachat, K., Kaitimonchai, P. and Phongdara, A., 2021. Evaluation of probiotic characteristics and whole genome analysis of *Pediococcus pentosaceus* MR001 for use as probiotic bacteria in shrimp aquaculture. *Scientific Reports*, 11, pp. 1–17. DOI:10.1038/s41598-021-96780-z

Wei, C., Luo, K., Wang, M., Li, Y., Pan, M., Xie, Y., Qin, G., Liu, Y., Li, L., Liu, Q. and Tian, X., 2022. Evaluation of potential probiotic properties of a strain of *Lactobacillus plantarum* for shrimp farming: from beneficial functions to safety assessment. *Frontiers in Microbiology*, 13, pp. 1–14. DOI:10.3389/fmicb.2022.854131.

Yang, H.L., Sun, Y.Z., Hu, X., Ye, J., Lu, K.L., Hu, L.H. and Zhang, J.J., 2019. *Bacillus pumilus* SE5 originated PG and LTA tuned the intestinal TLRs/MyD88 signaling and microbiota in grouper (*Epinephelus coioides*). *Fish & Shellfish Immunology*, 88, pp. 266–271. DOI:10.1016/j.fsi.2019.03.005.

Introducing a bacterial consortium for aquaculture

Pourmozaffar S.¹; Gozari M.^{2*}; Tamadoni Jahromi S.²; Zahedi M.R.²

1-Persian Gulf Mollusks Research Station, Persian Gulf and Oman Sea Ecology Research Center, Iranian Fisheries Sciences Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar-e-Lengeh. Iran.

2-Persian Gulf and Oman Sea Ecology Research Center, Iranian Fisheries Sciences Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Abbas, Iran

Abstract

Probiotics are one of the most effective methods for replacing antibiotic therapy. Aquatic animals' quality can be enhanced through the use of probiotic products in various ways. The right choice of probiotics is crucial because unsuitable microorganisms can lead to negative effects on the host. A microbial consortium is not only a mixture of different strains, but also consists of different populations of microorganisms that interact with each other. The advantages of a bacterial consortium are the synthesis of complex molecules, such as extracellular enzymes. The use of a probiotic consortium that provides multiple beneficial functions and it is considered a new generation of probiotic products. Understanding the current interactions among consortium members and the dynamics of existing populations is essential for designing a microbial consortium with industrial applications.

Keywords: Antibiotic, Probiotic, Probiotic consortium