

Research Article

Studying the effect of feeding *Lactobacillus bulgaricus* and *Lactobacillus plantarum* probiotics on the immune system and protection against the pathogen *Aeromonas hydrophila* in Zebrafish model

Sheida Ehsannia¹, Hamed Ahari^{1*}, Shapour Kakolaki², Seyed Amir Ali Anvar³, Seyedeh Shima Yousefi¹

¹ Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agricultural Sciences and Food Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization, Tehran, Iran

³ Department of Food Hygiene and Quality Control, Faculty of Veterinary Medicine, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Key Words

Zebra fish
Probiotic
Lactobacillus bulgaricus
Lactobacillus plantarum
Aeromonas hydrophila

Abstract

Introduction: Zebrafish is very similar to mammals in terms of physiology of digestive system, pharmacological and genetics. Also, the remarkable similarity of zebrafish immune system to mammals is as an alternative model for studying innate immunity and adaptive immunity as well as malignancies caused by immune cells. Therefore, this fish is an attractive model for investigating the basic inflammatory processes and damage to the intestine, which was used in this research and the results obtained can be generalized to humans. The purpose of this study is to investigate the effect of feeding with two probiotic strains of *Lactobacillus bulgaricus* and *Lactobacillus plantarum* separately and in combination on the immune system, the presence of bacteria in the intestine and protection against the pathogen *Aeromonas hydrophila* in the zebrafish model, which is a successful model for studies on vertebrate developmental biology, physical and biomedical research, intestinal bacterial colonization and immune responses have been introduced.

Materials & Methods: RT-PCR test was performed to prove the presence of probiotic bacteria in the intestine and quantitative evaluation of the expression of immune genes, and the mortality of fish after exposure to pathogenic bacteria was investigated. After preparation, probiotic bacteria were added to the feed at a concentration of 108 cfu/g at the rate of 3% of the body weight of the fish and were fed to 240 pieces of fish twice a day and the tests were evaluated for 60 (0, 28, 56 and 60) days.

Results: According to the results, the highest gene expression of *Lactobacillus plantarum* bacteria in the intestine in LA.pba treatment was on day 28, and the highest gene expression of *Lactobacillus bulgaricus* bacteria in LA.ba treatment was on day 60. The highest level of expression of immune genes IL1 β and TNF α as inflammatory cytokines was in the normal group and even after exposure to the pathogen on day 60, the lowest level of expression of these genes was in the LA.pba group. Also, the highest survival rate was seen in the LA.pba group.

Conclusion: The obtained results indicate the appropriate effect of using two types of probiotics *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus bulgaricus* in creating protection against the pathogen *Aeromonas hydrophila*. Also, it seems that the use of these two probiotics in combination has more beneficial effects in the zebrafish model.

Article info

* Corresponding Author's email:
h.ahari@srbiau.ac.ir

Received: 5 February 2024

Reviewed: 8 March 2024

Revised: 11 May 2024

Accepted: 15 June 2024

مقاله علمی - پژوهشی

مطالعه تأثیر خوراک دهی با پروبیوتیک‌های لاکتوباسیلوس بولگاریکوس و لاکتوباسیلوس پلانتاروم بر روی سیستم ایمنی و محافظت در برابر پاتوژن آئروموناس هیدروفیلا در مدل ماهی زبرا

شیدا احسان نیا^۱، حامد اهری^{۱*}، شاپور کاکولکی^۲، سیدامیر علی انوار^۳، سیده‌شیمایوسفی^۱

^۱ گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۲ موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

^۳ گروه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

کلمات کلیدی

چکیده

ماهی زبرا

پروبیوتیک

لاکتوباسیلوس بولگاریکوس

لاکتوباسیلوس پلانتاروم

آئروموناس هیدروفیلا

مقدمه: ماهی زبرا از نظر فیزیولوژی دستگاه گوارش، فارماکولوژیکی و ژنتیکی بسیار به پستانداران شبیه است. هم‌چنین شباهت قابل توجه سیستم ایمنی ماهی زبرا به پستانداران به‌عنوان یک مدل جایگزین برای مطالعه ایمنی ذاتی و ایمنی تطبیقی و هم‌چنین بدخیمی‌های ناشی از سلول‌های ایمنی می‌باشد. بنابراین این ماهی مدلی جذاب برای بررسی فرایندهای اساسی التهابی و آسیب به روده است که در این پژوهش از آن استفاده شده و نتایج به‌دست آمده، برای انسان قابل تعمیم می‌باشد. هدف از این مطالعه بررسی اثر خوراک‌دهی با دو سویه پروبیوتیک لاکتوباسیلوس بولگاریکوس و لاکتوباسیلوس پلانتاروم به‌صورت جدا و در ترکیب با هم بر روی سیستم ایمنی، حضور باکتری‌ها در روده و محافظت بر علیه پاتوژن آئروموناس هیدروفیلا در مدل ماهی زبرا که یک مدل موفق برای مطالعات بیولوژی رشد مهره‌داران، تحقیقات فیزیکی و زیست پزشکی، کلونیزاسیون باکتریایی روده و پاسخ‌های ایمنی معرفی شده است، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: تست RT-PCR برای اثبات حضور باکتری‌های پروبیوتیک در روده و ارزیابی کمی بیان ژن‌های ایمنی انجام شد و بررسی مرگ و میر ماهی‌ها بعد از مواجهه با باکتری پاتوژن صورت گرفت. باکتری‌های پروبیوتیکی بعد از آماده‌سازی با غلظت 10^8 cfu/g به میزان ۳ درصد وزن بدن ماهی‌ها به خوراک افزوده شدند و ۲ بار در روز به ۲۴۰ قطعه ماهی خوراندند و بررسی آزمون‌ها به مدت ۶۰ روز (روزهای ۰، ۲۸، ۵۶ و ۶۰) انجام گرفت.

نتایج: بر اساس نتایج بالاترین بیان ژن باکتری لاکتوباسیلوس پلانتاروم در روده در تیمار LA-pba در روز ۲۸ بود و بالاترین بیان ژن باکتری لاکتوباسیلوس بولگاریکوس در تیمار LA-ba در روز ۶۰ بود. بالاترین میزان بیان ژن‌های ایمنی $IL1\beta$ و $TNF\alpha$ به‌عنوان سیتوکین‌های التهابی در گروه نرمال بود و حتی پس از مواجهه با پاتوژن در روز ۶۰، کم‌ترین میزان بیان این ژن‌ها در گروه LA-pba بود. هم‌چنین بالاترین نرخ زنده‌مانی در گروه LA-pba دیده شد.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده تأثیر مناسب استفاده از دو نوع پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پلانتاروم و لاکتوباسیلوس بولگاریکوس در ایجاد محافظت در برابر عامل بیماری‌زای آئروموناس هیدروفیلا است. هم‌چنین به‌نظر می‌رسد که استفاده از این دو پروبیوتیک در ترکیب با هم اثرات مفیدتری را در مدل ماهی زبرا به همراه دارد.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

h.ahari@srbiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۶ بهمن ۱۴۰۲

تاریخ داور: ۱۸ اسفند ۱۴۰۲

تاریخ اصلاح: ۲۲ اردیبهشت ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۲۶ خرداد ۱۴۰۳

مقدمه

پروبیوتیک‌ها با استفاده از مکانیسم‌های متعددی می‌توانند اثرات سودمند و درمانی را در میزبان مصرف‌کننده القا نمایند. یکی از ویژگی‌های مهم آن‌ها اعمال تاثیر سودمند خود در هنگام حضور پاتوژن‌ها است به طوری که با ایجاد رقابت با میکروارگانیسم‌های پاتوژن و ایجاد محیط آنتاگونیستی بر علیه آن‌ها می‌توانند اثرات محافظتی خود را اعمال نمایند. یک ویژگی دیگر آن‌ها تاثیرشان در رشد بهتر و مناسب‌تر میزبان است. پروبیوتیک‌ها در حفظ عملکردهای مناسب در روده و تحریک ایمنی گوارشی نقش مهمی دارند (۱). اثبات شده است لاکتوباسیلوس‌ها در میان میکروارگانیسم‌های پروبیوتیکی و باکتری‌های اسید لاکتیک به عنوان مهم‌ترین گروه هستند که امکان زنده‌مانی و توان ایجاد کلونی در سیستم گوارش میزبان را دارند. این باکتری‌ها در حفظ و ارتقای سیستم ایمنی در روده و گوارش نقش داشته و می‌توانند از شدت بیماری‌های التهابی روده بکاهند (۲). با مصرف باکتری‌های پروبیوتیک، بعد از طی کردن مسیر گوارشی و رسیدن به معده، در درجه اول کلونیزه شدن و استقرار آن‌ها در روده و سپس رفتار آنتاگونیستی آن‌ها با باکتری‌های پاتوژن برای کاهش یا از بین بردن اثرات آن‌ها پراهمیت می‌باشد. بنابراین مطالعات بالینی با استفاده از مدل‌های پستانداران می‌تواند در این راستا ما را در فهم این موضوع کمک کند و از آن‌جاکه مدل‌های پستانداران اغلب پیچیده هستند، اخیراً از مدل‌های جدیدی مانند ماهی زبرا که از نظر فیزیولوژی دستگاه گوارش، سیستم ایمنی، بیولوژی، فارماکولوژیکی و ژنتیکی خیلی شبیه به انسان می‌باشد، استفاده می‌گردد (۳، ۴). ماهی زبرا دانیو (*Danio rerio*) از ماهیان زینتی بسیار زیبا در آب شیرین و مناطق گرمسیری است که زیستگاه آن شرق هند، بنگلادش، پاکستان، میانمار و نپال و از خانواده کپور ماهیان است (۵). طول عمر آن حدود ۵ سال است و در دمای ۱۸ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد به راحتی زندگی می‌کند و pH مورد نیاز برای آن ۶/۶-۷/۲ می‌باشد (۶). این ماهی دارای رژیم غذایی همه چیز خواری است و با حداکثر طول ۶ سانتی‌متر، وجود خطوط افقی رنگی در بدن، دارای جثه کوچک و باریک و فاقد هرگونه اندام دفاعی است. این ماهی به دلیل هم‌آوری بالا، اندازه کوچک، دوره جنینی شفاف و دوره زندگی کوتاه در مطالعات زیست پزشکی کاربرد زیادی برای مطالعه بیماری‌های مختلف دارد (۷). باکتری‌های اسیدلاکتیک (LAB) بخش بزرگی از میکروبیوتای مهره‌داران و ماهیان را تشکیل می‌دهند و اثرات مفید آن‌ها بر تولیدمثل ماهی زبرا گزارش شده است (۸). پرورش آبزیان به عنوان یکی از فعالیت‌های مهم تولیدی، در بسیاری از کشورهای جهان محسوب می‌شود (۹). استفاده از

مکمل‌ها در جیره غذایی آبزیان به منظور تامین نیازهای تغذیه‌ای و نیز مقاومت در برابر بیماری‌ها همواره مورد توجه بوده است. مکمل‌های غذایی طیف گسترده‌ای از ترکیبات را در برمی‌گیرند که هریک دارای ویژگی‌های مخصوص به خود می‌باشند. از جمله مکمل‌های غذایی که تاثیرات سودمند آن‌ها در صنایع مختلف از جمله صنعت آبی پروری مشاهده شده است، مکمل‌های غذایی میکروبی یا پروبیوتیک‌ها هستند. تحقیقات و آزمایشات صورت گرفته در این خصوص عمدتاً متمرکز بر تعیین اثرات و مکانیسم اثر پروبیوتیک‌ها بر شاخص‌های رشد (۱۰)، مهار پاتوژن‌ها (۱۱) و نیز کنترل استرس (۱۲) بوده است. نتایج تحقیقات انجام شده نشان داده است که در بسیاری از گونه‌های ماهی و میگو، پروبیوتیک‌ها باعث بهبود ترکیب شیمیایی لاشه و افزایش مقاومت در برابر بیماری‌ها می‌گردند (۹). از طرف دیگر، در بعضی کشورها با مصرف این میکروارگانیسم‌های مفید، مقدار مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها به طور قابل توجهی کاهش یافته است. در این میان، باکتری‌های شایع‌ترین نوع پروبیوتیک‌ها هستند که سویه‌های مختلفی از آن‌ها در آبی پروری مورد بررسی قرار گرفته است (۱۳). در واقع، استفاده از پروبیوتیک‌ها به دلیل تخمیر گزینشی توسط باکتری‌های مفید روده، سبب افزایش تعداد و غالبیت آن‌ها می‌شوند (۱۴). ماهی‌ها ممکن است در تمامی مراحل زندگی در معرض باکتری‌های موجود در محیط قرار گیرند که بعضی از آن‌ها مضر و برخی دیگر مفید می‌باشند. برای کنترل عوامل بیماری‌زا باید از باکتری‌هایی همانند لاکتوباسیل‌ها که دارای اثرات بهداشتی مفیدی می‌باشند، استفاده کرد (۱۵). در بسیاری از تحقیقات اهمیت استفاده از این باکتری‌ها بالاخص در آبی پروری نشان داده شده است. به عنوان نمونه، تاثیر مثبت استفاده از باکتری *Lactobacillus plantarum* بر روی ماهی تیلاپای نیل *Oreochromis niloticus* گزارش شد (۱۶). هم‌چنین این باکتری برای محافظت ماهی در برابر عفونت آئروموناس هیدروفیلا که باعث شیوع بیماری‌های بزرگ و ضررهای اقتصادی شدید برای آبی پروری می‌شود، مفید شناخته شده است. با این حال، مکانیسم‌ها هم‌چنان نامشخص است (۱۷). خوراک دهی با باکتری پروبیوتیک لاکتوباسیلوس بولگاریکوس نیز باعث افزایش رشد و نرخ زنده‌مانی در هنگام مواجهه با پاتوژن شده و باعث تعدیل بیان ژن‌های ایمنی می‌شود (۱۱). طی تحقیق انجام شده بر ماهی زبرا مشخص شد که لاکتوباسیلوس پالنتاروم باعث کاهش مرگ و میر و آسیب بافتی ناشی از کلونیزاسیون پاتوژن و التهاب در روده ماهی زبرا در چالش با پاتوژن آئروموناس هیدروفیلا می‌شود و هم‌چنین اثر سرکوب‌کنندگی لاکتوباسیلوس پالنتاروم بر روی بیان ژن‌های پیش التهابی ($\text{TNF}\alpha$ و B1IL) نیز نشان داده شد (۱۷). هم‌چنین اثر دو باکتری لاکتوباسیلوس پالنتاروم و لاکتوباسیلوس بولگاریکوس بر ۳

روی پاسخ ایمنی و مقاومت آن بر علیه پاتوژن را در ماهی شیر بت بررسی شد و نتایج نشان داد که بیش‌ترین فعالیت ضد میکروبی در گروه لاکتوباسیلوس بولگاریکوس بوده و ماهی‌هایی که از ترکیب هر دو باکتری پروبیوتیک تغذیه کرده بودند، افزایش قابل توجهی در نرخ زنده‌مانی بعد از مواجهه با پاتوژن داشتند و پارامترهای ایمنی را نیز برانگیخته کردند (۱۸). Nobakht و همکاران، اثر لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس و لاکتوباسیلوس پلانتاروم به عنوان پروبیوتیک به صورت مجزا و در ترکیب با هم بر روی سیستم ایمنی و مقاومت به بیماری در ماهی قزل‌آلای رنگین کمان بررسی کردند و نتایج نشان داد که پروبیوتیک لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس اثر بهتری بر روی رشد و سیستم ایمنی ماهی داشته و کاهش تعداد کلونی‌های پاتوژن هیدروفیلا را به بیش‌تر از ۹۰ درصد نشان داد (۱۹). تجویز پروبیوتیک‌ها در آکوفید به دلیل ظرفیت آزادسازی طیف گسترده‌ای از آنزیم‌ها و مواد مغذی گوارشی که می‌توانند در فرآیند هضم و استفاده از خوراک مشارکت داشته باشند، مصرف و جذب خوراک را همراه با جذب اجزای رژیم غذایی که منجر به افزایش سلامت میزبان می‌شود، افزایش می‌دهد (۲۰). با توجه به توضیحات ارائه شده در بالا و اهمیت استفاده از پروبیوتیک‌ها در جیره غذایی انسان و ویژگی‌های مطلوبی که ایجاد می‌کنند، هدف از این پژوهش مطالعه تاثیر ضد میکروبی باکتری‌های پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پلانتاروم و لاکتوباسیلوس بولگاریکوس بر علیه باکتری پاتوژن آئروموناس هیدروفیلا و بررسی اثر آن‌ها بر روی بیان ژن‌های ایمنی و حضور این باکتری‌ها در روده مدل ماهی زبرا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه و محل انجام تحقیق: این تحقیق در مجموعه تحقیقاتی هیستونوتک (شرکت دانش بنیان بافت و ژن پاسارگاد) انجام گرفت. ۱۲ عدد آکواریوم خریداری و شست و شو و سپس آبگیری شدند و آب کلرزدایی شد. هوادهی توسط پمپ هوا که دارای ۱۲ انشعاب مجهز به سنگ هوا بود انجام گرفت. ۲۴۰ قطعه ماهی زبرا به صورت تصادفی در ۱۲ آکواریوم، به تعداد ۲۰ قطعه ماهی در هر آکواریوم تقسیم‌بندی شده و با شرایط نوری ۱۲:۱۲ در دمای 26 ± 2 درجه سانتی‌گراد و در $pH=7-5$ به مدت ۶۰ روز نگهداری شدند. در این آزمون ۴ گروه با ۳ تکرار وجود داشت که گروه‌ها عبارتند از: گروه صفر (گروه شاهد در روز صفر، عدم دریافت پروبیوتیک و عدم مواجهه با پاتوژن آئروموناس هیدروفیلا)، گروه نرمال (گروه شاهد، عدم دریافت پروبیوتیک و مواجهه با پاتوژن آئروموناس هیدروفیلا)، گروه pba.LA (گروه دریافت کننده ترکیب باکتری پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پلانتاروم و لاکتوباسیلوس دلبروکی زیرگونه بولگاریکوس و مواجهه با

باکتری پاتوژن آئروموناس هیدروفیلا)، گروه pa.LA گروه دریافت کننده باکتری پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پلانتاروم و مواجهه با باکتری پاتوژن آئروموناس هیدروفیلا) و گروه ba.LA گروه دریافت کننده باکتری پروبیوتیک لاکتوباسیلوس دلبروکی زیرگونه بولگاریکوس و مواجهه با باکتری پاتوژن آئروموناس هیدروفیلا). خوراک دهی با استفاده از خوراک تجاری GOLDFISH & KOI به شکل دانه‌ای و به صورت دو مرتبه در روز در ساعات ۵ و ۱۱ انجام گرفت. خوراک دهی به میزان ۳٪ وزن بدن ماهی‌ها در گروه نرمال که بدون مکمل پروبیوتیکی بود و نیز در گروه‌های حاوی مکمل پروبیوتیکی صورت گرفت. پروبیوتیک در هر وعده غذایی معادل ۱ تا ۲٪ هر پلیت غذا، افزوده شد (۲۱). برای اثبات نقش ضد التهابی استفاده از پروبیوتیک‌ها در قبل و بعد از حضور پاتوژن سنجش بیان سیتوکین‌های β -1IL و α -TNF با استفاده از qPCR در بازه‌های زمانی ۰، ۲۸، ۵۶ و ۶۰ روز، به طور تصادفی از هر گروه تیمار سه نمونه برای هر آزمون انجام گرفت. هم چنین نقش استفاده از پروبیوتیک‌ها در تغییرات میزان مرگ و میر ماهی‌ها و میزان حضور پروبیوتیک‌ها در روده نیز در بازه‌های زمانی مختلف مشخص گردید.

تهیه باکتری‌های پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پلانتاروم و

لاکتوباسیلوس بولگاریکوس: در این پژوهش از باکتری‌های پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پلانتاروم ATCC ۱۴۹۱۷ و لاکتوباسیلوس دلبروکی زیرگونه بولگاریکوس ATCC ۱۱۸۴۲ که از بانک میکروبی مرکز ذخیره ژنتیکی ایران تهیه شد، استفاده گردید. برای رسیدن به غلظت مورد نظر از باکتری‌ها در ابتدا سوسپانسیون اولیه‌ای از باکتری‌ها تهیه شد و باکتری‌ها هر کدام به محیط حاوی محیط کشت (broth MRS شرکت مرک آلمان) تزریق و تا رسیدن به مقدار مورد نظر در شرایط بی‌هوازی به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور شیکردار ۳۷ درجه سانتی‌گراد و دور rpm ۱۸۰ انکوبه گردیدند. سپس کدورت رشد برابر با نیم مک فارلند تهیه شد و در دستگاه اسپکتروفتومتر OD آن با غلظت nm ۰/۱ که معادل با 10^8 CFU می‌باشد خوانده شد. سپس محیط را با دور rpm ۴۰۰۰ در دمای $4^{\circ}C$ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ کرده و رسوب باکتری و با cc ۱ نرمال سالیین ترکیب شد.

تهیه باکتری پاتوژن آئروموناس هیدروفیلا: سویه پاتوژن

آئروموناس هیدروفیلا ATCC ۷۹۶۶ به صورت پلیت از بانک میکروبی مرکز ذخیره ژنتیکی ایران تهیه شد و سپس باکتری تحت شرایط استریل و زیر هود در محیط LB broth کشت داده شد. سپس از محیط مایع رقت‌های سریالی گرفته شد و در ادامه در محیط نوترینت آگار کشت داده شد. کلنی کانت انجام و غلظت $10^8 \times 1/3$ CFU به دست آمد.

آزمون حضور پروبیوتیک‌ها در روده ماهی: نمونه برداری

برای بررسی حضور پروبیوتیک‌ها در روده، بعد از انتخاب تصادفی ماهی‌ها و بی‌هوش کردن آن‌ها با پودر گل میخک، تحت شرایط استریل و زیر هود توسط ذره‌بین یا میکروسکوپ به وسیله انبر استریل شکم ماهی باز شد و نمونه روده استخراج گردید. به منظور بررسی میزان بیان ژن‌های اختصاصی هر یک از پروبیوتیک‌های استفاده شده از PCR با وجود پرایمرهای اختصاصی برای نمونه‌های بافت روده

استفاده شد. توالی پرایمرهای مورد استفاده در آزمون سنجش حضور پروبیوتیک‌ها در روده و طول قطعه ساخته شده در جدول ۱ اشاره شده است. نتایج به دست آمده از این آزمایش بیان ژن‌های اختصاصی هر یک از پروبیوتیک‌ها را نشان می‌دهد. بدیهی است افزایش بیان هر یک از ژن‌های اختصاصی پروبیوتیک نشان از حضور بیش‌تر آن باکتری در محل خواهد بود. نمونه‌های روده استخراج شده در ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شده تا PCR انجام شود.

جدول ۱: پرایمرهای مورد استفاده در آزمون سنجش حضور پروبیوتیک‌ها در روده

Table 1: Primers used in the test to measure the presence of probiotics in the intestine

Primer name	Sequence	Length (Amplicon)
Forward primer <i>L. plantarum</i>	GCCGCCTAAGGTGGGACAGAT	200 bp
Reverse primer <i>L. plantarum</i>	TTACCTAACGGTAAATGCGA	
Forward primer <i>L. delbrueckii</i>	CACTTGTCGTTGAAAACCTGAATATCTTAA	94 bp
Reverse primer <i>L. delbrueckii</i>	CGAACTCTCTCGGTCGCTTT	

آزمون بیان ژن سایتوکین‌های β -1IL و $\text{TNF}\alpha$: از هر گروه،

۳ نمونه ماهی به‌طور تصادفی انتخاب و توسط پودر گل میخک بی‌هوش و کشته شدند و سپس در ظرف اپندورف قرار گرفتند و در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمون نگه‌داری شدند. به منظور بررسی میزان بیان ژن سایتوکین‌های β -1IL و $\text{TNF}\alpha$ نمونه‌برداری‌های انجام شده از گروه‌های آزمایش در میکروتیوپ‌های Free RNase قرار داده شده و تا زمان انجام آزمایشات مربوطه در فریزر ۸۰- درجه

سانتی‌گراد نگه‌داری شدند تا PCR انجام شود. پرایمرهای R و F مورد استفاده به‌منظور سنجش بیان سایتوکین‌های β -1IL و $\text{TNF}\alpha$ و هم‌چنین ژن GAPDH به‌عنوان ژن مرجع، از ماهی زبرا با استفاده از نرم‌افزار Runner Gene طراحی و توسط شرکت SINACOLON سنتز گردید. فهرست پرایمرها به‌همراه اندازه قطعات تکثیر شده در جدول ۲ اشاره شده است.

جدول ۲: پرایمرهای مورد استفاده در آزمون سنجش بیان ژن‌ها

Table 2: Primers used in gene expression assay

Primer name	Sequence	Length (Amplicon)
Forward primer d-GAPDH	CAGAACATCATCCCAGCCTCC	152 bp
Reverse primer d-GAPDH	TTGGCAGGTTTCTCAAGACGG	
Forward primer d-IL-1 β	ACAGCACACACACTGATGCAC	218 bp
Reverse primer d-IL-1 β	AGAATAAGCAGCACTTGGGGA	
Forward primer d-TNF- α	TGGATTGTGAACGAAAGTGAG	108 bp
Reverse primer d-TNF- α	AGCAATGTTCAGATGTGTTGG	

مواجهه با پاتوژن آئروموناس هیدروفیلا: در روز ۵۶ بعد از

۲۴ ساعت گرسنگی، پاتوژن آئروموناس هیدروفیلا با غلظت $10^8 \times 1/3$ به آب آکواریوم با حجم ۵/۳ لیتر تزریق شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های آماری: برای تجزیه و تحلیل نتایج

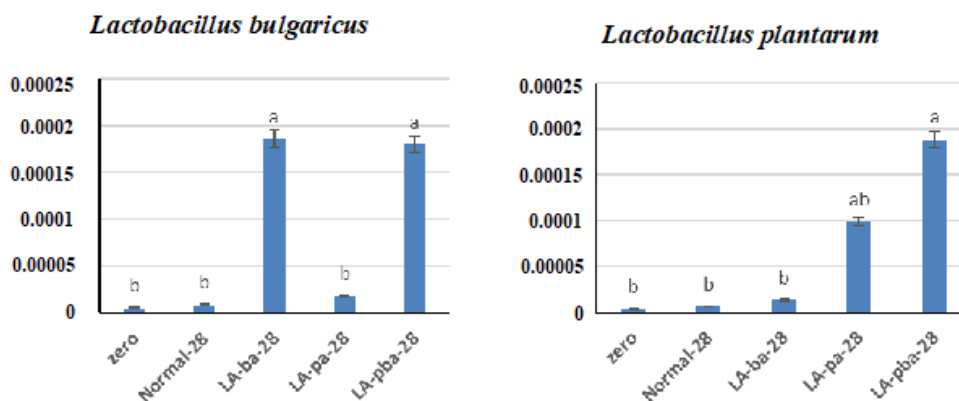
به‌دست‌آمده از نرم‌افزار SPSS ورژن ۲۶ و آزمون‌های آماری ANOVA و دانکن استفاده شد. همه آزمون‌ها در سه تکرار انجام شد و نتایج به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار بیان شد. سطح اختلاف آماری کلی به صورت $p < 0.05$ در نظر گرفته شد.

نتایج

نتایج حضور پروبیوتیک در روده ماهی: نتایج به‌دست آمده

از بررسی میزان حضور پروبیوتیک در روده ماهی (فرآیند pcr time

(Real) در روز ۲۸ در مورد لاکتوباسیلوس پلانتاروم و لاکتوباسیلوس بولگاریکوس در شکل ۱ ارائه شده است. بررسی نتایج به‌دست آمده مربوط به پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پلانتاروم (شکل ۱) نشان می‌دهد که در گروه صفر بیان ژن بسیار پایین است که نشان از عدم حضور و یا کمبود این باکتری در این گروه است. از سوی دیگر در گروه pba-LA بیش‌ترین میزان بیان ژن اختصاصی این نوع پروبیوتیک به دست آمده است که نشان‌دهنده حضور این پروبیوتیک و تکثیر بالای آن است. هم‌چنین با توجه به تحلیل نتایج به‌دست آمده مربوط به آنالیز بیان ژن پروبیوتیک لاکتوباسیلوس بولگاریکوس (شکل ۱) در روز ۲۸، مشخص گردید که در گروه‌های صفر، نرمال و pa-LA بیان ژن بسیار پایین است و میزان بیان ژن در این سه گروه با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارد ($p > 0.05$).



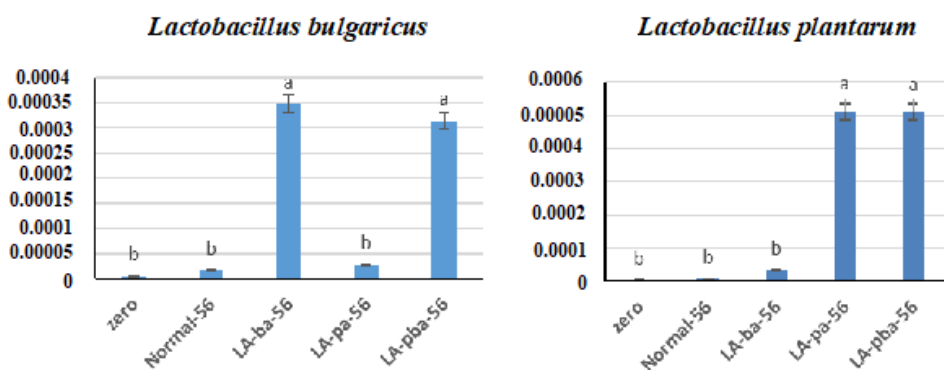
شکل ۱: نتایج بررسی حضور لاکتوباسیلوس‌ها در روده ماهی در روز ۲۸

Figure 1: Results of the study of the presence of *Lactobacilli* in the fish intestine on day 28

حروف هم‌نام انگلیسی بالای هر ستون نشان از عدم تفاوت معنی‌دار ($p > 0.05$) و حروف غیر هم‌نام نشان از وجود تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) بین آن دو گروه می‌باشد
The same English letters above each column indicate no significant difference ($p < 0.05$) and the non-same letters indicate a significant difference ($p < 0.05$) between the two groups

($p > 0.05$). با بررسی نتایج به دست آمده از آنالیز بیان ژن پروبیوتیک لاکتوباسیلوس بولگاریکوس در روز ۵۶ (شکل ۲) مشخص گردید گروه‌های صفر، نرمال و LA-pa دارای کم‌ترین میزان بیان ژن اختصاصی این پروبیوتیک هستند و میزان بیان ژن در گروه LA-pa نسبت به دو گروه نامبرده دیگر بیشتر است اما این اختلاف معنی‌دار نیست ($p > 0.05$). این نتیجه نشان‌دهنده کمبود یا عدم حضور پروبیوتیک بولگاریکوس در این گروه‌ها است.

بررسی نتایج به دست آمده مربوط به پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پلانتروم و لاکتوباسیلوس بولگاریکوس در روز ۵۶، در شکل ۲ ارائه شده است. بررسی نتایج به دست آمده مربوط به پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پلانتروم (شکل ۲) نشان می‌دهد که در گروه‌های صفر، نرمال و LA-ba بیان ژن بسیار پایین است و این نتیجه نشان از عدم حضور و یا کمبود این باکتری در این گروه‌ها است. البته میزان بیان در گروه LA-ba نسبت به دو گروه دیگر بیشتر است اما نتایج به دست آمده در مقایسه آماری اختلاف معنی‌دار نشان نمی‌دهد



شکل ۲: نتایج بررسی حضور لاکتوباسیلوس‌ها در روده ماهی در روز ۵۶

Figure 2: Results of the study of the presence of *Lactobacilli* in the fish intestine on day 56

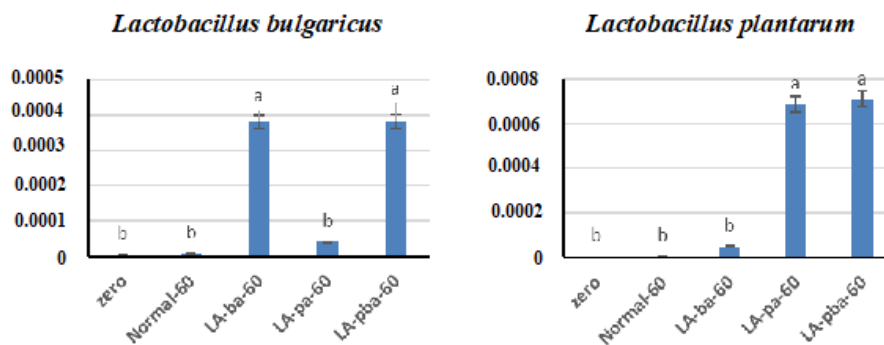
حروف هم‌نام انگلیسی بالای هر ستون نشان از عدم تفاوت معنی‌دار ($p > 0.05$) و حروف غیر هم‌نام نشان از وجود تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) بین آن دو گروه می‌باشد
The same English letters above each column indicate no significant difference ($p < 0.05$) and the non-same letters indicate a significant difference ($p < 0.05$) between the two groups

بیان ژن اختصاصی در این سه گروه نامبرده به یکدیگر نزدیک است و اختلاف معنی‌دار با یکدیگر ندارند ($p > 0.05$). هم‌چنین با توجه به نتایج به دست آمده از آنالیز بیان ژن پروبیوتیک لاکتوباسیلوس بولگاریکوس در روده ماهی‌های گروه‌های مختلف در روز ۶۰ (شکل ۳) مشخص گردید که گروه‌های صفر، نرمال و LA-pa کم‌ترین میزان بیان ژن اختصاصی این پروبیوتیک را دارند و میزان بیان ژن

نتایج به دست آمده از آنالیز بیان ژن پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پلانتروم و لاکتوباسیلوس بولگاریکوس در روز ۶۰، در شکل ۳ ارائه شده است. با توجه به نتایج آنالیز بیان ژن پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پلانتروم (شکل ۳) مشخص گردید که میزان بیان ژن در گروه‌های صفر، نرمال و LA-ba بسیار پایین است و نتیجه به دست آمده نشان‌دهنده عدم حضور و یا کمبود این باکتری در این گروه‌ها است. میزان

گروه‌ها نشان دهنده کمبود یا عدم حضور پروبیوتیک بولگاریکوس در روده ماهی‌های این گروه‌ها است.

در گروه LA-pa نسبت به دو گروه نامبرده دیگر بیش‌تر بوده که این اختلاف معنی‌دار نیست ($p > 0.05$) و نتایج به دست آمده در این



شکل ۳: نتایج بررسی حضور لاکتوباسیلوس‌ها در روده ماهی در روز ۶۰

Figure 3: Results of the study of the presence of *lactobacilli* in the fish intestine on day 60

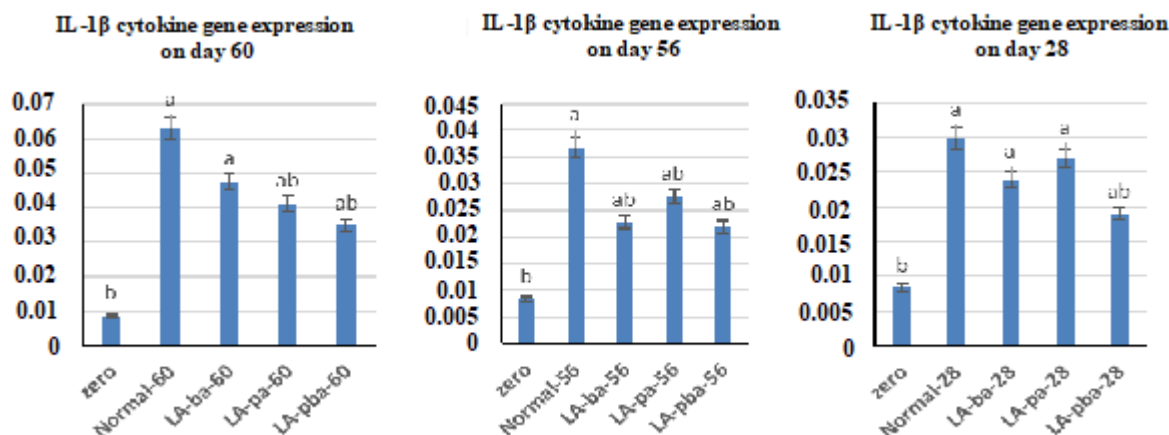
حروف هم‌نام انگلیسی بالای هر ستون نشان از عدم تفاوت معنی‌دار ($p > 0.05$) و حروف غیر هم‌نام نشان از وجود تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) بین آن دو گروه می‌باشد

The same English letters above each column indicate no significant difference ($p < 0.05$) and the non-same letters indicate a significant difference ($p < 0.05$) between the two groups

نسبت به سایر گروه‌ها بیش‌ترین میزان بیان ژن وجود دارد و در میان گروه‌های دریافت‌کننده پروبیوتیک گروه LA-pa بالاترین میزان تکثیر ژن $TNF\alpha$ را دارد اما اختلاف معنی‌داری بین نتایج به دست آمده در بین این سه گروه و هم‌چنین با گروه نرمال و صفر وجود ندارد ($p > 0.05$). همان‌طور که در شکل ۵ (نتایج روز ۵۶) مشخص شد، بیش‌ترین میزان بیان ژن سیتوکین $TNF\alpha$ در این زمان مربوط به گروه نرمال است و در میان گروه‌های دریافت‌کننده پروبیوتیک گروه LA-pa بیان ژن بالاتری نسبت به دو گروه دیگر LA-ba و LA-pba دارد. بین میزان بیان ژن در ۳ گروه دریافت‌کننده پروبیوتیک و گروه صفر اختلاف معنی‌دار وجود ندارد ($p > 0.05$). آنالیز نتایج بیان ژن سیتوکین $TNF\alpha$ در گروه‌های مختلف در روز ۶۰، نشان داد که گروه نرمال نسبت به سایر گروه‌ها بیش‌ترین میزان بیان ژن را دارد. میزان افزایش بیان مشاهده شده در گروه نرمال فقط با گروه صفر معنی‌دار بود ($p \leq 0.05$) و با سه گروه دیگر LA-pa، LA-ba و LA-pba معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). تحلیل نتایج به دست آمده در مورد آنالیز بیان ژن سیتوکین $TNF\alpha$ در روز ۲۸ (شکل ۵) نشان داد که در گروه نرمال نسبت به سایر گروه‌ها بیش‌ترین میزان بیان ژن وجود دارد و در میان گروه‌های دریافت‌کننده پروبیوتیک گروه LA-pa بالاترین میزان تکثیر ژن $TNF\alpha$ را دارد اما اختلاف معنی‌داری بین نتایج به دست آمده در بین این سه گروه و هم‌چنین با گروه نرمال و صفر وجود ندارد ($p > 0.05$).

نتایج میزان بیان ژن سیتوکین‌های $IL-1\beta$ و $TNF\alpha$: تحلیل

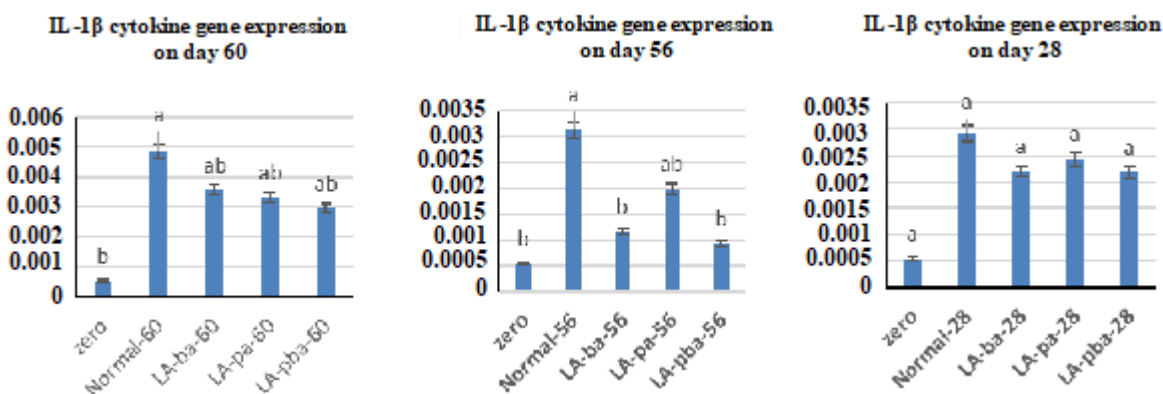
نتایج به دست آمده مربوط به آنالیز بیان ژن $IL-1\beta$ (شکل ۴) نشان می‌دهد که در روز ۲۸، میزان بیان ژن در گروه‌های صفر و LA-pba نسبت به سه گروه دیگر نرمال، LA-ba و LA-pa پایین‌تر است. کم‌ترین میزان بیان ژن در گروه‌های آزمایش مربوط به گروه صفر و بیش‌ترین میزان بیان ژن مربوط به گروه نرمال است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که میزان بیان ژن $IL-1\beta$ در چهار گروه نرمال، LA-pa، LA-ba و LA-pba با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند ($p > 0.05$). همان‌طور که در شکل ۴ آمده است بررسی نتایج بیان ژن $IL-1\beta$ در روز ۵۶ در گروه‌های مختلف آزمایشی نشان داد که بیش‌ترین میزان بیان ژن مربوط به گروه نرمال است و در بین گروه‌های دریافت‌کننده پروبیوتیک گروه LA-pa میزان بیان ژن $IL-1\beta$ آن از دو گروه دیگر بیش‌تر است اما این افزایش بیان ژن معنی‌دار نیست ($p > 0.05$). نتایج به دست آمده از بررسی میزان تغییرات بیان ژن $IL-1\beta$ در گروه‌های مختلف آزمایشی در روز ۶۰ در شکل ۴ ارائه شده است و تحلیل نتایج به دست آمده از گروه‌های مختلف نشان داد که میزان بیان ژن مورد نظر در گروه نرمال از سایر گروه‌های آزمایشی بیش‌تر است. در بین گروه‌های دریافت‌کننده پروبیوتیک یعنی گروه‌های LA-pa، LA-ba و LA-pba میزان بیان ژن $IL-1\beta$ در گروه LA-ba بیش‌تر است هر چند این سه گروه با یکدیگر و با گروه نرمال در میزان ژن اختلاف معنی‌دار نداشتند ($p > 0.05$). تحلیل نتایج به دست آمده در مورد آنالیز بیان ژن سیتوکین $TNF\alpha$ در روز ۲۸ (شکل ۵) نشان داد که در گروه نرمال



شکل ۴: نتایج بررسی میزان بیان ژن سیتوکین IL-1β گروه‌های مختلف در روز ۲۸، ۵۶ و ۶۰

Figure 4: Results of examining the expression level of the IL-1β cytokine gene in different groups on days 28, 56, and 60

حروف هم‌نام انگلیسی بالای هر ستون نشان از عدم تفاوت معنی‌دار ($p > 0.05$) و حروف غیر هم‌نام نشان از وجود تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) بین آن دو گروه می‌باشد. The same English letters above each column indicate no significant difference ($p < 0.05$) and the non-same letters indicate a significant difference ($p < 0.05$) between the two groups



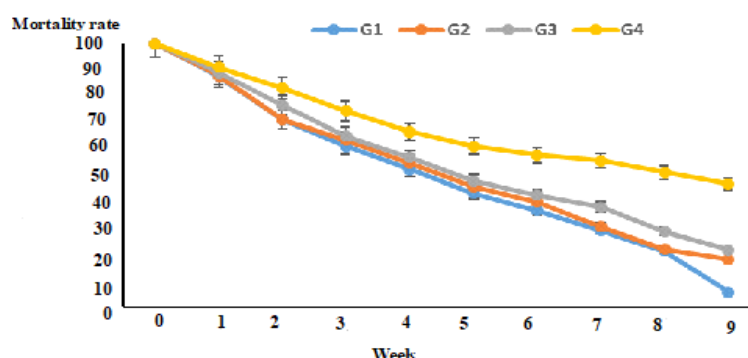
شکل ۵: نتایج بررسی میزان بیان ژن سیتوکین TNFα گروه‌های مختلف در روز ۲۸، ۵۶ و ۶۰

Figure 5: Results of examining the expression level of the TNFα cytokine gene in different groups on days 28, 56, and 60

حروف هم‌نام انگلیسی بالای هر ستون نشان از عدم تفاوت معنی‌دار ($p > 0.05$) و حروف غیر هم‌نام نشان از وجود تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) بین آن دو گروه می‌باشد. The same English letters above each column indicate no significant difference ($p < 0.05$) and the non-same letters indicate a significant difference ($p < 0.05$) between the two groups

ثبت گردید تا مشخص شود استفاده از پروبیوتیک‌ها در مقابل ورود پاتوژن‌ها تاثیر داشته‌اند. نتایج به‌دست آمده از این بررسی (شکل ۶) نشان داد که بیش‌ترین میزان بقا در هفته نهم مربوط به گروه دریافت کننده باکتری پروبیوتیک لاکتوباسیلوس بولگاریکوس و مواجهه با باکتری پاتوژن آئروموناس هیدروفیلا بوده و کم‌ترین میزان بقا مربوط به گروه نرمال است که دریافت پروبیوتیک نداشته و مواجهه با پاتوژن آئروموناس هیدروفیلا داشته است. ضمناً در طی کل دوره آزمایش با افزایش زمان در هر ۴ گروه آزمایش میزان بقا روند کاهشی داشته است.

نتایج میزان مرگ و میر: بررسی میزان مرگ و میر ماهی‌ها در گروه‌های مختلف در طی ۹ هفته و هر هفته ثبت گردید که نتایج آن در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به این که تا قبل از روز ۵۶ که پروبیوتیک دهی انجام شده است میزان مرگ و میرها با مرگ طبیعی بوده است که تعداد آن‌ها اهمیت زیادی در این پروژه ندارد و آن چه که اهمیت دارد نتایج به‌دست آمده پس از روز ۵۶ است. در روز ۵۶ چالش با عامل پاتوژن آئروموناس هیدروفیلا انجام شده است. سنجش میزان مرگ و میر تا روز ۶۰ و پایان دوره آزمایش



شکل ۶: نتایج بررسی میزان مرگ و میر گروه‌های مختلف در ۹ هفته

Figure 6: Results of the mortality rate study of different groups in 9 weeks

1G) گروه نرمال: گروه شاهد، عدم دریافت پروبیوتیک و مواجهه با پاتوژن *Aeromonas hydrophila* (2G) گروه LA.pba: گروه دریافت‌کننده ترکیب باکتری پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پلانتاروم و لاکتوباسیلوس دلبروکی زیرگونه بولگاریکوس و مواجهه با باکتری پاتوژن *Aeromonas hydrophila* (3G) گروه LA.pa: گروه دریافت‌کننده باکتری پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پلانتاروم و مواجهه با باکتری پاتوژن *Aeromonas hydrophila* (4G) گروه LA.ba: گروه دریافت‌کننده باکتری پروبیوتیک لاکتوباسیلوس دلبروکی زیرگونه بولگاریکوس و مواجهه با باکتری پاتوژن *Aeromonas hydrophila* (1G) Normal group: control group, no probiotic intake and exposure to the pathogen *Aeromonas hydrophila*, 2G) LA.pba group: group receiving a combination of probiotic bacteria *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus delbrueckii* subspecies *bulgaricus* and exposure to the pathogenic bacteria *Aeromonas hydrophila*, 3G) LA.pa group: group receiving probiotic bacteria *Lactobacillus plantarum* and exposure to the pathogenic bacteria *Aeromonas hydrophila*, 4G) LA.ba group: group receiving probiotic bacteria *Lactobacillus delbrueckii* subspecies *bulgaricus* and exposure to the pathogenic bacteria *Aeromonas hydrophila*

بحث

بررسی میزان بیان ژن سیتوکین‌های $IL-1\beta$ و $TNF\alpha$: با

تحلیل نتایج به دست آمده از بررسی‌ها، به ویژه در مورد روز ۶۰، مشخص گردید که حتی پس از مواجه شدن با پاتوژن بیماری‌زا میزان هردو نوع این سیتوکین‌ها در گروه LA-pba نسبت به دو گروه دیگر دریافت‌کننده پروبیوتیک و همچنین گروه‌های نرمال پایین‌تر است. این نتایج اثبات می‌کند استفاده از پروبیوتیک‌ها حتی در صورت مواجهه با پاتوژن در طی ۴ روز بررسی (روز ۵۶ تا ۶۰) تاثیر زیادی در افزایش میزان سیتوکین‌های التهابی نداشته است. اما به طور کلی استفاده از پروبیوتیک‌ها میزان بیان سیتوکین‌های التهابی را تغییر می‌دهد. با توجه به در نظر گرفتن ماهی زبرا به عنوان مدل می‌توان این نتایج را در مورد انسان نیز تعمیم داد. تعدیل ایمنی یکی از رایج‌ترین مزایای در ارتباط با پروبیوتیک‌ها می‌باشد و این نقش آن‌ها در حیوانات آبی به طور گسترده گزارش شده است. اثرات محافظتی پروبیوتیک‌ها شامل: حذف رقابتی پاتوژن‌ها، تولید ترکیبات ضدباکتریایی مانند آنتی‌بیوتیک‌ها و باکتریوسین‌ها و یا تقویت سد اپیتلیال روده. علاوه بر این، پروبیوتیک‌ها می‌توانند تعامل داشته باشند با سلول‌های اپیتلیال از طریق گیرنده‌های تشخیص الگو که می‌توانند پاسخ‌های ایمنی و فیزیولوژیکی را در میزبان تنظیم کنند مانند تولید سیتوکین‌ها، ارائه آنتی‌ژن‌ها و تمایز سلول‌های T و تنظیم عملکرد آن‌ها و این فرایندها برای دفاع از میزبان در برابر بیماری‌ها بسیار مهم می‌باشد. مطالعات گذشته نشان داده است که پروبیوتیک‌ها (مانند باکتری‌های اسیدلاکتیک) که می‌توانند بیان ژن‌های سیتوکین التهابی و ضد التهابی را به طور موثری تنظیم کنند (۲۳). سلول‌های ایمنی مخاطی ساکن روده ممکن است با ترشح انواع مختلف سیتوکین و مواد تنظیم‌کننده سیستم ایمنی، محل ایمنی موضعی را تنظیم و تعدیل کنند، بنابراین اپیتلیوم روده ممکن است که نقش کلیدی در شروع و

بررسی حضور پروبیوتیک در روده ماهی: با تحلیل نتایج به

دست آمده در مورد این نوع پروبیوتیک به نظر می‌رسد در هر سه بازه زمانی، بیش‌ترین میزان توزیع مربوط به گروه LA-pba است. نتایج به دست آمده در مورد پروبیوتیک لاکتوباسیلوس بولگاریکوس نشان‌دهنده بیش‌ترین میزان تکثیر در گروه LA-ba و به ویژه بعد از القای آلودگی با پاتوژن مورد نظر در روده ماهی‌های مورد بررسی است. در مطالعات دیگر اثبات شده است پروبیوتیک‌ها می‌توانند با استفاده از مکانیسم‌های مختلف و به روش رقابتی برای ایجاد جمعیت مورد نظر و رقابت با میکروب‌های درونی در روده عمل کنند. از جمله این مکانیسم‌ها تولید ترکیبات مهارکننده، رقابت برای مواد شیمیایی یا انرژی، رقابت بر سر محل‌های چسبندگی است (۱۶). پروبیوتیک‌ها با ایجاد کلنی بر روی سطح مخاط و افزایش جمعیت باکتری‌های مفید در دستگاه گوارش میزبان و تغییر فلور باکتریایی توان مقابله با انواع باکتری‌های پاتوژن را به دست می‌آورند (۲۰). در یک تحقیق بیان شد که باکتری‌های پروبیوتیک لاکتوباسیلوس بولگاریکوس و لاکتوباسیلوس پلانتاروم به شدت در روده ماهی *T. grypus* چسبنده هستند زیرا این باکتری‌ها بومی (autochthonous) خود ماهی هستند و انتخاب مناسبی به عنوان خوراک پروبیوتیکی می‌باشند (۱۸). هم‌چنین در مطالعه‌ای دیگر نشان داده شد که باکتری‌های پروبیوتیک باسیلوس کواگولانس و لاکتوباسیلوس پلانتاروم چسبندگی زیادی به روده ماهی زبرا دارند و افزایش کلونیزاسیون پروبیوتیک‌ها منجر به حذف پاتوژن‌ها می‌شود (۳). در گزارشی نشان داده شده است که لاکتوباسیلوس بولگاریکوس، سوپه چسبنده به روده ماهی خاردار اروپایی (*Diicentrarchus labrax*) می‌باشد (۲۲).

ذرات غیرقابل هضم، افزایش اشتها، افزایش قابلیت جذب مواد معدنی و عناصر کمیاب، تولید آنزیم‌های گوارشی مهم و تحریک اشتها می‌شوند (۱۷). مشابه با نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر، محققین در سال ۲۰۱۴ که بیان نمودند لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس در افزایش میزان زنده‌مانی ماهی‌های مواجه شده با عامل بیماری‌زا آئروموناس هیدروفیلا نقش دارد (۲۷). هم‌چنین محققین دیگری بیان نمودند مکمل غذایی با لاکتوباسیلوس پلانتاروم باعث کاهش مرگ و میر و کلونیزاسیون آئروموناس هیدروفیلا در ماهی زبرا شد (۱۷). هم‌چنین مرگ و میر در ماهی‌های زبرا که خوراک پروبیوتیکی لاکتوباسیلوس پلانتاروم و باسیلوس کواگولانس مصرف کرده بودند نسبت به گروه کنترل، کاهش داشت (به ترتیب ۵۳/۱ و ۲۴/۴ درصد) و این باکتری‌ها می‌توانند در روده کلونیزه شوند و اثر محافظتی بر علیه پاتوژن داشته باشند (۳). در مطالعه‌ای دیگر نرخ زنده‌مانی در ماهی‌های کپور خوراک‌دهی شده با لاکتوباسیلوس دلبروکی زیرگونه بولگاریکوس بعد از چالش با پاتوژن آئروموناس هیدروفیلا به‌طور معنی‌داری نسبت به گروه کنترل، بیش‌تر بود (۱۱). اثرات سودمند و درمانی انواع پروبیوتیک‌ها در مطالعات متعددی مورد بررسی قرار گرفته و به نتایج آن اشاره شده است. در برخی از بررسی‌ها استفاده از مدل‌های غیرانسانی مانند استفاده از ماهی زبرا به‌عنوان یک مدل موفق برای مطالعات بیولوژیکی در این زمینه مورد توجه بوده است. این ماهی از نظر فیزیولوژی دستگاه گوارش، فارماکولوژیکی و ژنتیکی بسیار به پستانداران شبیه است. هم‌چنین شباهت قابل توجه سیستم ایمنی ماهی زبرا به پستانداران به‌عنوان یک مدل جایگزین برای مطالعه ایمنی ذاتی و ایمنی تطبیقی و هم‌چنین بدخیمی‌های ناشی از سلول‌های ایمنی می‌باشد. بنابراین این ماهی مدلی جذاب برای بررسی فرایندهای اساسی التهابی و آسیب به روده است که در این پژوهش از آن استفاده شده و نتایج به‌دست آمده، برای انسان قابل تعمیم می‌باشد. به‌نظر می‌رسد نتایجی که در این مطالعه به‌دست آمده، نشان‌دهنده تاثیر مناسب استفاده از دو نوع پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پلانتاروم و لاکتوباسیلوس بولگاریکوس در ایجاد محافظت در برابر عامل بیماری‌زای آئروموناس هیدروفیلا داشته است. اما نکته‌ای که باید به آن توجه گردد این است که نتایج مطالعات دیگر محققین در برخی موارد با نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر، تفاوت‌هایی داشت که به‌دلیل نوع ماهی، پروبیوتیک و عامل پاتوژن متغیر بودند. بنابراین لازم است به فاکتورهای موثر دیگر مانند شرایط رشد ماهی، محیط جغرافیایی، شرایط پرورش و عواملی مشابه بیش‌تر توجه گردد.

منابع

1. Agh, N., Irani, A., Noori, F. and Tookmehchi, A., 2019. Survey of *Lactobacillus delbrueckii* effects on Persian sturgeon in different life stages. *Journal of Fisheries Science and Technology*. 8(1): 1-8. <https://doi.org/10.22113/jmst.2019.156745.22> (In Persian)
2. Foo, H.L., Loh, T.C., Mutalib, N.E.A. and Rahim, R.A., 2019. The myth and therapeutic potentials of postbiotics.

تنظیم ایمنی مخاطی در برابر باکتری‌ها از طریق تعامل با سلول‌های ایمنی بافت لنفوئیدی مرتبط با روده، لنفوسیت‌های زیرغشای مخاطی و لنفوسیت‌های داخل اپیتلیال داشته باشد. در مطالعه‌ای بیان شده است که باکتری‌های چسبیده به روده (لاکتوباسیلوس بولگاریکوس) ممکن است بیان سیتوکین‌های روده میزبان را کاهش دهند و یا این که بر بیان آن‌ها تاثیری نگذارند، اما سویه‌های غیرچسبیده (باسیلوس سوبتیلیس) تمایل به افزایش بیان سیتوکین‌ها دارند (۲۴). محققین دیگری گزارش دادند که مصرف این پروبیوتیک با تاثیر بر سلول‌های اپیتلیال روده باعث کاهش شدید در بیان ژن‌های دخیل در بیماری‌زایی این باکتری شده و با ترشح موکوس‌های مخاطی و افزایش ایمنی ذاتی سطح حفاظتی خوبی را ایجاد می‌نماید (۲۵). در مطالعه‌ای دیگر خوراک دهی با پروبیوتیک لاکتوباسیلوس بولگاریکوس سطح بیان ژن‌های سیتوکین پیش التهابی را در روده ماهی کپور کاهش و میزان بیان ژن‌های سیتوکین ضدالتهابی را افزایش داد. تغذیه با لاکتوباسیلوس بولگاریکوس در ماهی کپور باعث کاهش سطح سیتوکین‌های پیش التهابی $IL1\beta$ و $TNF\alpha$ در روده شد (۱۱). در نتایج تحقیقی در سال ۲۰۱۶، هنگام تغذیه ماهی تیلاپیا با چندگونه پروبیوتیک، افزایش هم‌زمان از سیتوکین‌های التهابی ($TNF-\alpha$ و $IL-1\beta$) را مشاهده کردند (۲۶). مشابه با نتایج این تحقیق، محققین دیگری بیان کردند بیان ژن $TNF\alpha$ هیچ تفاوت قابل توجهی را بین گروه‌های پروبیوتیکی لاکتوباسیلوس کازئی و گروه کنترل بعد از گذشت ۷۲ ساعت از چالش با پاتوژن آئروموناس هیدروفیلا نداشت، با این حال سطح بالای بیان $IL1\beta$ در گروه پروبیوتیکی نسبت به گروه کنترل در ۸ ساعت پس از عفونت مشاهده شد (۲۳). هم‌چنین Wang و همکاران، با بررسی اثر باسیلوس کواگولانس و لاکتوباسیلوس پلانتاروم در ماهی زبرا به این نتیجه رسیدند که بیان ژن‌های سیتوکین در گروه‌های پروبیوتیکی به تدریج در طی زمان‌های مورد بررسی تا ۲۸ روز بعد از خوراک‌دهی کاهش یافت و بعد از مواجهه با پاتوژن در روز اول افزایش و به مرور زمان تا روز سوم کاهش یافت (۳).

بررسی میزان مرگ و میر: یکی از مواردی که در این پژوهش بسیار اهمیت دارد تاثیر استفاده از پروبیوتیک‌ها در کاهش میزان مرگ و میر ماهی‌ها و به‌ویژه پس از مواجهه با عامل پاتوژن بوده است. همان‌طور که قبلاً بیان شد، میزان بقا در هفته نهم (روز ۶۰) آزمایش که آخرین روز سنجش‌های متوالی هفتگی میزان مرگ و میر بوده است گروه دریافت‌کننده باکتری پروبیوتیک لاکتوباسیلوس بولگاریکوس مواجه شده با پاتوژن دارای بیش‌ترین میزان بقا در این زمان نسبت به سایر گروه‌ها بوده است. این نتایج تاثیر مطلوب استفاده از پروبیوتیک در کاهش میزان مرگ و میر ماهی‌ها و به‌ویژه پس از القای پاتوژن اثبات می‌نماید. مکانیسم‌های متعددی پیشنهاد شده است که پروبیوتیک‌ها باعث افزایش راندمان تبدیل و افزایش وزن و در نتیجه بهبود عملکرد رشد و نهایتاً بهبود سیستم ایمنی بدن در برخی آبزیان می‌شوند. پروبیوتیک‌ها با تولید ترکیبات مسمومیت‌زدا، تجزیه

16. Primalac probiotic. *Animal Physiology and Development Scientific Research*. 14(2): 63-76. (In Persian)
17. NguyenVan, N., Satoru Onodab, T., Van Khanh, T., Duy Hai, P., Thanh Trung, N., Hoang, L. and Koshio, Sh., 2019. Evaluation of dietary heat-killed *Lactobacillus plantarum* strain L-137 supplementation on growth performance, immunity and stress resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*. 498: 371-379. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.08.081>
18. Li, S., Guo, L., Si, X., Dai, Z., Zhou, Z. and Wu, Z., 2022. *Lactobacillus plantarum* WCFS1 alleviates *Aeromonas hydrophila* NJ-1-induced inflammation and muscle loss in zebrafish (*Danio rerio*). *Aquaculture*. 548(1). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737603>
19. Mohammadian, T., Alishahi, M., Tabandeh, M.R., Ghorbanpoor, M., Gharibi, D., Tollabi, D. and Rohanizade, S., 2016. Probiotic effects of *Lactobacillus plantarum* and *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* on some immune-related parameters in *Barbus gryp*. *Aquaculture International*. 24: 225-242. <https://doi.org/10.1007/s10499-015-9921-8>
20. Nobakht, F., Mohabatkar, H. and Behbahani, M., 2022. An Experimental Study of the Effects of *Lactobacillus Acidophilus* and *Lactobacillus Plantarum* Probiotic Bacteria on the Immune System, Growth Factors, and Disease Resistance in the Rainbow Trout. *Biological Journal of Microorganism*. 10(40): 115-126
21. Ringo, E., Van Doan, H., Lee, S.H., Soltani, M., Hoseinifar, S.H., Harikrishnan, R. and Song, S.K., 2020. Probiotics, lactic acid bacteria and bacilli: interesting supplementation for aquaculture. *Journal of Applied Microbiology*. 129(1): 116-136. <https://doi.org/10.1111/jam.14628>
22. Ehsannia, Sh., Ahari, H., Kakoolaki, Sh., Anvar, S.A. and Yousefi, Sh., 2023. Effects of probiotics on Zebrafish model infected with *Aeromonas hydrophila*: spatial distribution, antimicrobial, and histopathological investigation. *BMC Microbiology*. 22(1): 167. <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02491-4>
23. Picchietti, S., Fausto, A.M., Randelli, E., Carnevali, O., Taddei, A.R. and Buonocore, F., 2009. Early treatment with *Lactobacillus delbrueckii* strain induces an increase in intestinal T-cells and granulocytes and modulates immune-related genes of larval *Dicentrarchus labrax* (L.). *Fish Shellfish Immunol*. 26: 368-376.
24. Qin, C., Xie, Y., Wang, Y., Li, S., Ran, C., He, S. and Zhou, Z., 2018. Impact of *Lactobacillus casei* BL23 on the host transcriptome, growth and disease resistance in larval zebrafish. *Frontiers in Physiology*. 9: 1245. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01245>
25. Liu, W., Ren, P., He, S., Xu, L., Yang, Y., Gu, Z. and Zhou, Z., 2013. Comparison of adhesive gut bacteria composition, immunity, and disease resistance in juvenile hybrid tilapia fed two different *Lactobacillus* strains. *Fish & Shellfish Immunology*. 35(1): 54-62. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2013.04.010>
26. Zivkovic, M., Hidalgo-Cantabrana, C., Kojic, M., Gueimonde, M., Golic, N. and Ruas-Madiedo, P., 2017. Capability of exopolysaccharide-producing *Lactobacillus paraplantarum* BCG11 and its non producing isogenic strain NB1, to counteract the effect of enteropathogens upon the epithelial cell line HT29-MTX. *Food Research International*. 74: 199-207. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.012>
27. Standen, B.T., Peggs, D.L., Rawling, M.D., Foey, A., Davies, S.J., Santos, G.A. and Merrifield, D.L., 2016. Dietary administration of a commercial mixed-species probiotic improves growth performance and modulates the intestinal immunity of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish & Shellfish Immunology*. 49: 427-435. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.11.037>
28. Villamil, L., Reyes, C. and Martinez-Silva, M.A., 2014. In vivo and in vitro assessment of *Lactobacillus acidophilus* as probiotic for tilapia (*Oreochromis niloticus*, Perciformes: Cichlidae) culture improvement. *Aquaculture Research*. 45(7): 1116-1125. <https://doi.org/10.1111/are.12051>
29. microbiome and metabolome in diagnosis, therapy and other strategic applications, 8th ed. Elsevier. 201-211.
30. Wang, Y., Ren, Z., Fu, L. and Su, X., 2016. Two highly adhesive lactic acid bacteria strains are protective in zebrafish infected with *Aeromonas hydrophila* by evocation of gut mucosal immunity. *Journal of Applied Microbiology*. 120(2): 441-451. <https://doi.org/10.1111/jam.13002>
31. Brugman, S., 2016. The zebrafish as a model to study intestinal inflammation. *Development & comparative immunology*. 46: 82-92. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2016.02.020>
32. Saddhe, A.A., Banerjee, G., Jamdadeh, R.A. and Thete, K.D., 2013. Zebrafish the reliable vertebrate model organism. *DCSI*. 91: 172-128.
33. Fadai Raini, M., Ahmadifar, A. and Inayat Gholampour, T., 2017. Study of changing of chemical muscle content during maturation in Zebrafish (*Danio rerio* Hamilton, 1822) fed with prebiotic inulin. *Journal of Animal Environment*. 9(3): 245-252. <https://doi.org/10.1001.1.27171388.1396.9.3.32.2> (In Persian)
34. Ali Azizi, R. and Ghaeni, M., 2016. The effect on the color supplement *Chlorella* sp. Algae of *Danio rerio*. *Journal of Animal Environment*. 8(2): 241-248. <https://doi.org/10.1001.1.27171388.1395.8.2.32.3> (In Persian)
35. Saeedi, Z., Mirzaeifi, A.R., Abed Alam Dost, A.R., Farahmand, H. and Safari, R., 2020. Investigating sexual maturation and gonad morphohistology in *Danio rerio* zebrafish offspring under the influence of *Lactobacillus plantarum* probiotic. *Scientific Journal of Iranian Fisheries*. 29(2): 103-114. <https://sid.ir/paper/4331/fa> (In Persian)
36. Morshedi, V., Agh, N., Marmazi, J., Nouri, F. and Mohammadiyan, T., 2018. Effects of Single and Combined Supplementation of *Lactobacillus plantarum* with dietary xylooligosaccharide on growth performance, body composition and physiological responses of sobaity (*Sparidentex hasta*) fingerling. *Journal of Marine Science and Technology*. 17(2): 44-57. <https://doi.org/10.22113/jmst.2016.40995> (In Persian)
37. Lin, Sh., Mao, Sh., Guan, Y., Luo, L. and Pan, Y., 2012. Effect of dietary chitosan oligosaccharides and *Bacillus coagulans* on the growth, innate immunity and resistance of koi. *Aquaculture*. 342-343: 36-41. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.02.009>
38. Zhang, C.H.N., Zhang, J.L., Guan, W.Ch., Zhang, Z.F., Guan, S.H., Zeng, Q.H., Cheng, G.F. and Cui, W., 2017. Effects of *Lactobacillus delbrueckii* on immune response, disease resistance against *Aeromonas hydrophila*, antioxidant capability and growth performance of *Cyprinus carpio* Huanghe var. *Fish & Shellfish Immunology*. 68: 84-91. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.07.012>
39. Tapia, P.A., Diaz, R.P. and Leon, R.J., 2012. Use or the probiotic *Shewanella putrefaciens* Pdl1 on the culture of Senegalensis sole (*Solea senegalensis*, Kaup 1858) and gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture International*. 21: 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10499-012-9509-5>
40. Sepehrfar, D., Hoseinifar, S.H. and Jafarnodeh, A., 2019. The effects of singular or combined administration of *Pediococcus acidilactii* and Raffinose as prebiotic on mucosal immune parameters and intestinal histomorphology of Common Carp (*Carassius auratus*). *Journal of Physiology and Animal Development*. 13(4): 69-79. <http://aquadev.liau.ac.ir/article-1547-en.html> (In Persian)
41. Zakariaei, H., Sudagar, M., Hoseini, S.S., Paknejad, H. and Baruah, K., 2022. The effect of using synbiotics containing button mushroom (*Agaricus bisporus*) extract in combination with two species of lactic acid bacteria on digestive enzyme activities, body composition, growth and intestinal microbial flora in zebrafish. *Journal of Marine Science and Technology*. 21(2): 63-75. <https://doi.org/10.22113/jmst.2020.23318.3.2375> (In Persian)
42. Rameshgar, M., Qomi Marzdashti, M.R., Hashemi Karoi, M., Hosseinifard, M. and Tabaripour, S.R., 2021. The effect of *Lactobacillus plantarum* and *Bruis* isolated from the digestive system of black fish (*Capoeta razii*) and its effect on the growth and safety indicators of common carp (*Cyprinus carpio*) in comparison with