DOI: 10.22092/VJ.2026.371775.2274 No:152 autumn 1405 *Veterinary Research & Biological Products*

Original Article

Effects of probiotic and graded levels of bacteriophage on growth performance, gut health, immune response, and carcass quality in broiler chickens

Behrouz Sepahvand, Babak Masuri * , Bahman Parizadian Kavan ,Heshmatollah Khosravinia

Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran.

Submited: 2026-02-10 Accepted: 2026-07-19
Revised: 2026-07-19 Published: 2026-10-01

*Corresponding author: masouri.ba@lu.ac.ir

Abstract

Introduction: Due to global restrictions on antibiotic use in poultry and concerns about antimicrobial resistance, bacteriophages have increasingly emerged as biological control agents to reduce the microbial load of pathogens such as *Escherichia coli*. **Objective:** This study evaluated and compared the effects of dietary supplementation with a probiotic and graded levels of bacteriophages (0.05%, 0.10%, and 0.15%) on growth performance, blood biochemistry, gut microbiota, intestinal histomorphology, immune response, and carcass traits in broilers. **Methods:** A total of 250 male Ross 308 chicks were randomly allocated into five treatments with five replicates (10 birds per replicate). Treatments included a basal diet (control), basal diet plus 0.025% probiotic, or either three phage levels (0.05%, 0.10%, 0.15%). Blood and intestinal sampling were conducted on day 42. **Results:** Supplementation during the starter phase decreased feed intake and significantly improved the feed conversion ratio. The highest overall average daily gain was observed in the 0.05% phage group. Bacteriophage supplementation significantly reduced serum triglycerides and ALT enzyme activity while increasing HDL and LDL concentrations. The lowest *Escherichia coli* and coliform counts were recorded in the 0.15% group, whereas Lactobacillus populations remained statistically unchanged. Villus height and the villus-to-crypt ratio improved across all supplemented groups. The highest Newcastle and Gumboro antibody titers were detected in the 0.05% and 0.15% phage groups, respectively. The 0.15% phage group exhibited the highest relative breast yield and the lowest liver and abdominal fat percentages. **Conclusion:** Bacteriophage supplementation functions as an efficient, dose-dependent alternative to antibiotics. A 0.05% level of phage optimizes growth performance and Newcastle immunity, whereas its 0.15% level is more effective for regulating liver metabolism, improving carcass quality, and enhancing Gumboro immunity. These findings indicate that bacteriophages are highly adjustable tools in modern poultry nutrition.

Keywords: Antibiotic alternative, Gut microbiota, Intestinal histomorphology, Immune response, Carcass traits

Authors retain the copyright and full publishing rights.
Published by Razi Vaccine & Serum Research Institute This article is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

تحقیقات دامپزشکی و فرآورده‌های بیولوژیک شماره ۱۵۲، پاییز ۱۴۰۵ DOI: 10.22092/VJ.2026.371775.2274

مقاله کامل

مقایسه اثرات مصرف خوراکی پروبیوتیک و سطوح مختلف باکتریوفاژ بر عملکرد رشد، سلامت روده، پاسخ ایمنی و کیفیت لاشه در جوجه‌های گوشتی

بهروز سپهوند، بابک ماسوری*، بهمن پریزادیان کاوان، حشمت اله خسروی نیا

گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۲۹ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱

* نویسنده مسئول: masouri.ba@lu.ac.ir

چکیده

مقدمه: با توجه به محدودیت‌های جهانی مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها در صنعت طیور و نگرانی از مقاومت ضدمیکروبی، استفاده از باکتریوفاژها به‌عنوان عامل کنترل بیولوژیک برای کاهش بار میکروبی پاتوژن‌هایی مانند *اشریشیاکلی* به‌شدت رواج یافته است. **هدف:** این مطالعه با هدف ارزیابی و مقایسه اثرات مکمل‌سازی جیره با پروبیوتیک و سطوح مختلف باکتریوفاژ (۰/۰۵، ۰/۱۰ ، ۰/۱۵ درصد) بر عملکرد رشد، فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون، جمعیت میکروبی و بافت‌شناسی روده، پاسخ ایمنی و صفات لاشه در جوجه‌های گوشتی انجام شد. **روش کار:** در این پژوهش، ۲۵۰ قطعه جوجه نر راس ۳۰۸ در ۵ تیمار و ۵ تکرار توزیع شدند. تیمارها شامل جیره پایه (شاهد)، جیره پایه به‌علاوه ۰/۰۲۵ درصد پروبیوتیک، و یا سه سطح ۰/۰۵، ۰/۱۰ ، ۰/۱۵ درصد باکتریوفاژ بودند. نمونه‌گیری خون و بافت روده در روز ۴۲ انجام شد. **یافته‌ها:** مکمل‌سازی در دوره آغازین، مصرف خوراک را کاهش و ضریب تبدیل را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشید. بیشترین افزایش وزن روزانه در کل دوره پرورش در گروه ۰/۰۵ درصد باکتریوفاژ ثبت شد. سطوح باکتریوفاژ منجر به کاهش تری‌گلیسیرید و ALT سرم و افزایش HDL و LDL گردیدند. کمترین جمعیت *اشریشیاکلی* و کلی‌فرم‌ها در گروه دریافت کننده ۰/۱۵ درصد فاژ مشاهده شد، در حالی که لاکتوباسیلوس‌ها تغییر معنی‌داری نداشتند. ارتفاع پرز و نسبت پرز به کریپت در تمام گروه‌های مکمل‌شده بهبود یافت. بالاترین عیار آنتی‌بادی نیوکاسل و گامبورو به‌ترتیب در گروه‌های دریافت کننده ۰/۰۵ و ۰/۱۵ درصد فاژ بود. گروه دریافت کننده ۰/۱۵ درصد فاژ بیشترین وزن نسبی سینه و کمترین درصد کبد و چربی حفره شکمی را داشت. **نتیجه‌گیری:** مکمل‌سازی جیره با باکتریوفاژ جایگزینی کارآمد و کاملاً وابسته به سطح مصرف است. سطح ۰/۰۵ درصد فاژ برای بهبود عملکرد رشد و ایمنی نیوکاسل، و سطح ۰/۱۵ درصد آن برای مدیریت متابولیسم کبد، کیفیت لاشه و ایمنی گامبورو مناسب‌تر است.

واژه‌های کلیدی: جایگزین آنتی‌بیوتیک؛ جمعیت میکروبی روده؛ بافت‌شناسی روده؛ پاسخ ایمنی؛ کیفیت لاشه

مقدمه

صنعت پرورش مرغ گوشتی به عنوان یکی از ارکان اصلی تأمین پروتئین حیوانی در جهان، همواره با چالش‌های متعددی از جمله بیماری‌های اندمیک دستگاه گوارش، به‌ویژه کلی‌باسیلوز ناشی از *اشریشیاکلی* مواجه است. در دهه‌های گذشته، استفاده از آنتی‌بیوتیک‌های تقویت‌کننده رشد، راهکاری رایج جهت کنترل این عفونت‌ها و بهبود عملکرد بود. با این حال، نگرانی‌های فزاینده جهانی پیرامون ظهور مقاومت ضدمیکروبی، انتقال ژن‌های مقاومت به پاتوژن‌های انسانی و باقی‌ماندن آنتی‌بیوتیک‌ها در فرآورده‌های دامی، منجر به ممنوعیت یا محدودیت شدید استفاده از این ترکیبات در بسیاری از کشورهای پیشرفته شده است (۱). در پی این محدودیت‌ها، جستجو برای راهبردهای جایگزین و طبیعی جهت حفظ هموستاز دستگاه گوارش، پیشگیری از کلونیزاسیون پاتوژن‌ها و ارتقای عملکرد رشد، به یکی از اولویت‌های اصلی تحقیقات طیور تبدیل شده است. استراتژی‌های نوین تغذیه‌ای و مدیریتی با هدف تقویت سد دفاعی روده و تعدیل جمعیت میکروبی، نقش بسزایی در کاهش تلفات و بهبود ضریب تبدیل خوراک ایفا می‌کنند (۲).

در میان جایگزین‌های آنتی‌بیوتیک‌ها، پروبیوتیک‌ها به دلیل توانایی در ایجاد رقابت غذایی و جایگاهی با پاتوژن‌ها، تولید ترکیبات ضدمیکروبی و تعدیل پاسخ ایمنی مخاطی، توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرده‌اند (۳). سویه‌های لاکتوباسیلوس و بیفیدوباکتریوم از مهم‌ترین پروبیوتیک‌های بومی روده طیور هستند که با کاهش pH محیط روده و تقویت اتصالات محکم بین سلول‌های اپیتلیال، به بهبود مورفولوژی روده و جذب مواد مغذی کمک می‌کنند (۴). با این وجود، اثربخشی پروبیوتیک‌ها به شدت وابسته به سویه، سطح مصرف و شرایط محیطی است و گاهی در کنترل طغیان‌های حاد پاتوژن‌ها به تنهایی کافی نیستند. برای غلبه بر محدودیت‌های پروبیوتیک‌ها در کنترل پاتوژن‌های اختصاصی، استفاده از باکتریوفاژها به عنوان یک عامل کنترل‌کننده بیولوژیک، رویکردی نوین و بسیار امیدبخش است. فاژها ویروس‌هایی هستند که به طور اختصاصی باکتری‌های میزبان خود مانند اشرشیاکلی را لیز می‌کنند. برخلاف آنتی‌بیوتیک‌ها، فاژها جمعیت میکروبی مفید روده را تخریب نمی‌کنند و قابلیت تکثیر در محل عفونت را دارند (۵). استفاده از کوکتل‌های فاژی اختصاصی علیه سویه‌های بیماری‌زای *اشرشیاکلی* مانند O۲،O۱ و O۷۸ می‌تواند به طور مؤثری بار میکروبی پاتوژن را کاهش داده و از آسیب‌های بافتی به پرزهای روده و ورود باکتری به جریان خون جلوگیری کند (۶). اگرچه مطالعات پراکنده‌ای به بررسی اثرات انفرادی پروبیوتیک‌ها و باکتریوفاژها پرداخته‌اند، اما مکانیسم‌های دقیق اثرگذاری آن‌ها بر فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون، ریخت‌شناسی بافتی روده، جمعیت میکروبی بومی و پاسخ ایمنی هومورال نیازمند واکاوی بیشتر است. به نظر می‌رسد ارزیابی همزمان این دو راهبرد زیستی بتواند دیدگاه جامع‌تری از پتانسیل آن‌ها در جایگزینی آنتی‌بیوتیک‌ها ارائه دهد. از این‌رو، ضرورت این تحقیق از آنجا ناشی می‌شود که شناخت دقیق تأثیرات متقابل این مکمل‌ها می‌تواند الگوی بهینه‌ای برای مدیریت سلامت روده و پیشگیری از کلی‌باسیلوز در اختیار صنعت طیور قرار دهد. بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف بررسی و مقایسه تأثیر مکمل‌سازی جیره با پروبیوتیک و باکتریوفاژ اختصاصی بر عملکرد رشد، فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون، جمعیت میکروبی و بافت‌شناسی روده و تیتر آنتی‌بادی علیه ویروس‌های نیوکاسل و گامبورو در جوجه‌های گوشتی طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی و مدیریت حیوانات

این مطالعه به‌صورت یک آزمایش کاملاً تصادفی با پنج تیمار انجام شد. در مجموع، ۲۵۰ قطعه جوجه گوشتی نر سویه راس ۳۰۸ در سن یک‌روزگی از یک مرغداری تجاری تهیه و پس از یک دوره سازگاری یک‌روزه در شرایط یکسان، به‌طور تصادفی در ۲۵ قفس (۵ تیمار × ۵ تکرار) توزیع شدند. هر تکرار شامل ۱۰ پرنده بود. پرندگان در یک سالن مرغداری با شرایط کنترل‌شده (نوردهی ۲۳ ساعت نور و ۱ ساعت تاریکی در روز، دمای اولیه ۳۲ درجه سانتی‌گراد که به‌تدریج تا ۲۲ درجه در روز ۲۱ کاهش یافت و رطوبت نسبی ۵۰-۶۰ درصد) پرورش داده شدند. دسترسی به آب و خوراک به‌صورت آزاد فراهم بود و جیره‌ها بر اساس مراحل تغذیه‌ای (آغازین: ۱ تا ۱۴ روزگی، رشد: ۱۵ تا ۲۸ روزگی، پایانی: ۲۹ تا ۴۲ روزگی) مطابق با استاندارد سویه راس ۳۰۸ طراحی

و تهیه شدند.

تیمارهای آزمایشی

جیره پایه بر اساس نیازهای تغذیه‌ای مرغ گوشتی (راس ۳۰۸) فرموله شد. تیمارهای آزمایشی شامل موارد زیر بودند:

۱. شاهد: جیره پایه بدون افزودنی؛

۲. جیره پایه + ۰/۰۲۵ درصد پروبیوتیک (CFU/g با غلظت 10^9)؛

۳. جیره پایه + ۰/۰۵ درصد مکمل باکتریوفاژ؛

۴. جیره پایه + ۰/۱۰ درصد مکمل باکتریوفاژ؛

۵. جیره پایه + ۰/۱۵ درصد مکمل باکتریوفاژ.

تهیه و تکثیر باکتریوفاژها بر اساس روش توصیف‌شده توسط اتربری و همکاران (۹) با اصلاحات جزئی انجام شد. به طور خلاصه، سویه‌های باکتریایی (O78, O1 و O2) *E. coli* در

جدول ۱- اجزاء و ترکیب شیمیایی تیمارهای مختلف آزمایشی در دوره‌های آغازین، رشد و پایانی.

اجزای خوراکی(درصد)	آغازین(۱تا۱۴روزگی)	رشد(۱۵تا۲۸روزگی)	پایانی(۲۹تا۴۲روزگی)
ذرت	۵۸/۹	۵۹/۷۰	۶۱/۶۵
کنجاله سویا	۳۳/۲۶	۳۲	۳۱
گلوتن ذرت	۳	۲/۵	۱/۵
سنگ آهک	۱/۲۲	۱/۰۸	۱/۰۵
دی کلسیم فسفات	۱/۸۷	۱/۶	۱/۴۵
نمک	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۳۲
بیکربنات سدیم	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱
ال-لیزین کلراید	۰/۳	۰/۱۸	۰/۰۶
دی ال-متیونین	۰/۱۹	۰/۲	۰/۱۸
روغن سویا	۰/۴	۱/۸	۲/۱۸
مکمل ویتامینی و مواد معدنی۲	۰/۴	۰/۵	۰/۵
ترکیب شیمیایی محاسبه شده(درصد)			
انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری(kcal/kg)	۲۸۸۰	۲۹۹۳	۳۰۳۹
پروتئین خام	۲۲/۳۵	۲۰/۹	۱۹/۹۶
کلسیم	۰/۹۹	۰/۸۶	۰/۸۱
فسفر قابل دسترس	۰/۴۸	۰/۴۳	۰/۴۰
متیونین	۰/۴۸	۰/۴۳	۰/۳۹
متیونین+سیستئین	۱/۰۲	۰/۹۰	۰/۸۲
لیزین	۱/۳۶	۱/۱۸	۱/۰۴
سدیم	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۷

هر کیلو گرم مکمل ویتامین و معدنی: ویتامین A شامل ۱۲,۰۰۰,۰۰۰ واحد بین المللی، ویتامین D۳ شامل ۲,۰۰۰,۰۰۰ واحد بین المللی، ویتامین E شامل ۲۰,۰۰۰ واحد بین المللی، ویتامین K مانند منادیون، شامل ۲,۰۰۰ میلی گرم، ویتامین B۱ (تیامین)، شامل ۱,۰۰۰ میلی گرم، ویتامین B۲ (ریبوفلاوین)، شامل ۴,۰۰۰ میلی گرم، ویتامین B۶ (پیریدوکسین)، شامل ۲,۰۰۰ تمیلی گرم، نیاسین (اسید نیکوتینیک)، شامل ۲۰,۰۰۰ میلی گرم، اسید پانتوتنیک شامل ۸,۰۰۰ میلی گرم، اسید فولیک شامل ۱,۰۰۰ میلی گرم، بیوتین شامل ۵۰ میلی گرم. آهن شامل ۴۰,۰۰۰ میلی گرم، مس شامل ۸,۰۰۰ میلی گرم، منگنز شامل ۶۰,۰۰۰ میلی گرم، روی شامل ۴۰,۰۰۰ میلی گرم، ید شامل ۳۰۰ میلی گرم، سلنیوم شامل ۱۰۰ میلی گرم.

محیط کشت مایع در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و شیکر ۱۵۰ دور در دقیقه به مدت ۱۸ ساعت انکوبه شدند. سپس، نمونه فاژ از محیط زیستی با باکتری میزبان به نسبت ۱:۱۰۰ مخلوط و به مدت ۲۴ ساعت هم‌انکوبه گردید. سوسپاسیون حاصل جهت حذف باکتری‌های باقی‌مانده سانتریفیوژ شد و سپس از فیلتر غشایی ۰/۲۲ میکرومتر (Millipore) عبور داده شد. در نهایت، عیار فاژها با روش لایه آگار دوگانه (Double agar layer) تعیین و محلول فاژی به صورت لیوفیلیزه (خشک انجمادی) با استفاده از کریوپروتکتانت (ساکارز ۵ درصد) جهت پایداری بیشتر، پودر و در دمای ۴- درجه سانتی‌گراد تا زمان مصرف نگهداری شد. پروبیوتیک مورد استفاده حاوی مخلوطی از *Lactobacillus acidophilus* و *Bifidobacterium bifidum* با CFU/g غلظت 10^9، تهیه‌شده از شرکت زیست‌فناور پارس (ایران) بود و کنترل کیفی آن بر اساس استاندارد ISO ۲۰۱۲۸ انجام شد.

اندازه‌گیری صفات تولیدی

مصرف خوراک، افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل غذایی (FCR) در چهار دوره زمانی ثبت شد: دوره آغازین (۱ تا ۱۴ روزگی)، دوره رشد (۱۵ تا ۲۸ روزگی)، دوره پایانی (۲۹ تا ۴۲ روزگی) و کل دوره (۱ تا ۴۲ روزگی). مصرف خوراک به‌صورت تفاضل خوراک اولیه و باقیمانده محاسبه شد. افزایش وزن روزانه از طریق وزن‌کشی پرندگان در ابتدای آزمایش و در پایان هر دوره تعیین گردید. ضریب تبدیل غذایی با تقسیم مصرف خوراک بر افزایش وزن روزانه، با در نظر گرفتن تلفات احتمالی و بر اساس واحد «روز-پرنده» محاسبه شد.

فراسنجه‌های خونی

در پایان دوره آزمایش (روز ۴۲)، یک پرنده به‌طور تصادفی از هر تکرار (مجموعاً ۲۵ پرنده) انتخاب و از طریق ورید بال خون‌گیری انجام شد. نمونه‌های خون در لوله‌های حاوی ضد انعقاد (EDTA) برای تهیه پلاسما جهت شمارش تفریقی گلبول‌های سفید (هتروفیل/لنفوسیت) و بدون ضد انعقاد برای تهیه سرم جهت سنجش شاخص‌های بیوشیمیایی جمع‌آوری شدند. نمونه‌های بدون ضد انعقاد به منظور جداسازی سرم، به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط قرار داده شده و سپس به مدت ۱۰ دقیقه در ۳۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شدند. سرم‌ها در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد منجمد و برای آنالیزهای بیوشیمیایی نگهداری شدند. سپس، با استفاده از کیت‌های تجاری (Pars Alborz Diagnostic Co., Iran) و دستگاه اسپکتروفتومتر (BioTek, USA)، غلظت تری‌گلیسرید، کلسترول، گلوکز، LDL، HDL، آلبومین، پروتئین تام (TP) بر حسب mg/dL و همچنین فعالیت آنزیم‌های ترانس‌آمیناز آلانین (ALT)، ترانس‌آمیناز آسپارتات (AST) و آلکالین فسفاتاز (ALP) بر حسب U/L در سرم اندازه‌گیری شد. تمامی آنالیزها مطابق با دستورالعمل سازنده کیت‌ها انجام گردید (۷).

جمعیت میکروبی روده

در پایان آزمایش، پس از ذبح یک پرنده از هر تکرار، بخش‌های ایلئوم (۱۰ سانتی‌متر قبل از دریچه ایلئوسکال) و سکوم جدا شدند. محتویات روده به‌صورت استریل جمع‌آوری و به‌سرعت به آزمایشگاه منتقل گردید. برای شمارش باکتری‌ها، یک گرم از محتویات روده به ۹ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات سالین (PBS) اضافه و به‌روش سریال دایلوشن رقیق‌سازی شد. سپس نمونه‌ها روی محیط‌های کشت اختصاصی شامل: MacConkey Agar (برای کلی‌فرم‌ها)، EMB Agar (برای اشرشیا کلی) و MRS Agar (برای لاکتوباسیلوس تحت شرایط بی‌هوازی) به روش spread plate کشت داده شدند. پس از انکوباسیون (۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴-۴۸ ساعت)، کلونی‌های تشکیل‌شده شمارش شدند و نتایج به صورت لگاریتم واحد تشکیل کلونی در هر گرم (Log CFU/g) گزارش گردید. (۴)

بافت‌شناسی روده

قطعاتی به طول ۲ سانتی‌متر از دئودنوم (۵ سانتی‌متر پس از سنگدان) و ایلئوم (۱۰ سانتی‌متر قبل از ایلئوسکال) جدا شدند. نمونه‌ها بلافاصله در محلول فرمالین بافر شده ۱۰ درصد (pH=۷/۴) تثبیت گردیدند. پس از انجام فرآیند استاندارد بافت‌شناسی (شامل دهیدراتاسیون، شفاف‌سازی و تثبیت در پارافین)، مقاطع با ضخامت ۵ میکرومتر با استفاده از دستگاه میکروتوم تهیه و با روش هماتوکسیلین و

ائوزین رنگ‌آمیزی شدند. ارزیابی بافت‌شناسی با استفاده از میکروسکوپ نوری (Olympus BX۵۱, Japan) و نرم‌افزار تحلیل تصویر (ImageJ, NIH, USA) انجام شد. شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده شامل ارتفاع پرز (از قاعده تا نوک پرز)، عمق کریپت (از پایین‌ترین نقطه کریپت تا سطح اپیتلیال) و نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت بود. برای هر نمونه، میانگین ۱۰ پرز و ۱۰ کریپت سالم و عمود بر سطح مخاطی محاسبه گردید (۳).

پاسخ ایمنی

در زمان ذبح، اندام‌های لنفاوی شامل طحال، تیموس و بورس فابرسیوس جدا و وزن‌کشی شدند. وزن این اندام‌ها به صورت نسبی (درصد از وزن لاشه خالص) محاسبه گردید. علاوه‌براین، در نمونه‌های خون حاوی ماده ضد انعقاد، پس از رنگ‌آمیزی گیمسا (Giemsa) و شمارش سلولی با میکروسکوپ نوری، درصد هتروفیل و لنفوسیت تعیین شد. نسبت هتروفیل به لنفوسیت (H/L) به عنوان شاخص استرس و وضعیت ایمنی محاسبه گردید. جوجه‌ها در روزهای ۱۴ و ۲۸ با واکسن‌های تجاری نیوکاسل (سویه LaSota) و گامبورو (سویه Intermediate) به صورت قطره چشمی واکسینه شدند. عیار آنتی‌بادی علیه بیماری نیوکاسل با روش مهار هم‌آگلوتیناسیون (Hemagglutination Inhibition) و بیماری گامبورو با کیت تجاری (IDEXX Laboratories, USA) و روش ELISA اندازه‌گیری شد. برای این منظور، سرم نمونه‌ها با رقت‌های مختلف تهیه و عیار آنتی‌بادی برای نیوکاسل بر مبنای لگاریتم دو (Log_2) و برای گامبورو به صورت نسبت نمونه به مثبت (S/P ratio) گزارش گردید (OIE, ۲۰۲۳).

خصوصیات لاشه و اندام‌های داخلی

پس از ذبح، وزن لاشه خالص (بدون روده، اندام‌های داخلی، سر و پاها)، وزن سینه، ران، چربی شکمی، قلب، کبد و سنگدان اندازه‌گیری شد. تمامی وزن‌ها به صورت درصدی از وزن بدن زنده قبل از ذبح محاسبه و گزارش گردید.

تحلیل آماری

داده‌ها با استفاده از تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) در نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۴) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام شد.

نتایج

عملکرد رشد

نتایج بررسی عملکرد رشد (جدول ۲) نشان داد که در دوره آغازین (۱ تا ۱۴ روزگی)، مکمل‌سازی جیره با ۰/۰۲۵ درصد پروبیوتیک و ۰/۰۵ درصد باکتریوفاژ در مقایسه با گروه شاهد موجب کاهش معنی‌دار مصرف خوراک و افزایش معنی‌دار افزایش وزن روزانه گردید ($P< ۰/۰۵$). همچنین، ضریب تبدیل غذایی در تمام گروه‌های دریافت‌کننده مکمل باکتریوفاژ نسبت به گروه شاهد بهبود معنی‌داری نشان داد. در دوره‌های رشد و پایانی، اگرچه مصرف خوراک در تیمارهای دریافت‌کننده باکتریوفاژ نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت، اما افزایش وزن و ضریب تبدیل غذایی اختلاف معنی‌داری با گروه شاهد نشان ندادند ($P>۰/۰۵$). در کل دوره آزمایش (۱ تا ۴۲ روزگی)، اگرچه از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در افزایش وزن و ضریب تبدیل غذایی میان تیمارها و شاهد مشاهده نشد، اما بیشترین مقدار عددی افزایش وزن روزانه در تیمار ۰/۰۵ درصد باکتریوفاژ ثبت گردید.

فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون

بررسی پروفایل لیپیدی و آنزیم‌های کبدی در سرم خون (جدول ۳) نشان داد که افزودن ۰/۱۰ و ۰/۱۵ درصد باکتریوفاژ به جیره، در مقایسه با گروه شاهد، موجب کاهش معنی‌دار غلظت تری‌گلیسرید و آنزیم آلانین آمینوترانسفراز (ALT) گردید. همچنین، تیمارهای ۰/۰۵ و ۰/۱۵ درصد باکتریوفاژ باعث کاهش معنی‌دار کلسترول کل سرم نسبت به شاهد شدند. در مقابل، بیشترین مقادیر HDL و LDL در تیمار ۰/۱۰ درصد باکتریوفاژ مشاهده شد. سایر فراسنجه‌های خونی شامل گلوکز، پروتئین تام، آلبومین، AST و ALP در مقایسه با گروه شاهد اختلاف معنی‌داری نشان ندادند ($P>۰/۰۵$).

جمعیت میکروبی روده

ارزیابی جمعیت میکروبی محتویات ایلئوم و سکوم (جدول ۴) نشان داد که افزودن سطوح ۰/۱۰ و ۰/۱۵ درصد باکتریوفاژ

جدول۲- اثر تیمارهای آزمایشی برخوراک مصرفی، افزایش وزن و ضریب تبدیل جوجه‌های گوشتی در دوره‌های مختلف آزمایش.

تیمار/ صفت	دوره آغازین (۱-۱۴روزگی)			دوره رشد (۱۵-۲۸روزگی)			دوره پایانی (۲۹-۴۲روزگی)			کل دوره (۱-۴۲روزگی)		
	خوراک مصرفی (گرم/روز)	افزایش وزن (گرم/روز)	ضرب تبدیل	خوراک مصرفی (گرم/روز)	افزایش وزن (گرم/روز)	ضرب تبدیل	خوراک مصرفی (گرم/روز)	افزایش وزن (گرم/روز)	ضرب تبدیل	خوراک مصرفی (گرم/روز)	افزایش وزن (گرم/روز)	ضرب تبدیل
شاهد	۲۹/۶۴ a	۱۸/۲۹ c	۱/۶۲ a	۸۰/۳۹ c	۴۲/۷۵	۱/۸۸ e	۱۳۳/۳۷ e	۵۴/۴۸	۲/۴۵	۸۱/۱۴ d	۳۸/۵۱	۲/۱۱
۰/۰۲۵ درصد پروپیوتیک	۲۴/۶۴ d	۱۸/۹۵ b	۱/۳۰ v	۹۷/۹۳ b	۴۲/۸۷	۲/۲۸ d	۱۳۷/۲۸ c	۵۸/۱۱	۲/۳۶	۸۶/۶۲ b	۳۹/۹۷	۲/۱۷
۰/۰۵درصد باکتریوفاژ	۲۵/۲۱ c	۱۹/۶۱ a	۱/۲۹ c	۱۰۰/۲۰ a	۴۰/۶۷	۲/۴۶ b	۱۴۴/۶۰ a	۶۲/۵۳	۲/۳۱	۹۰/۰۰ a	۴۰/۹۴	۲/۲۰
۰/۱درصد باکتریوفاژ	۲۷/۴۴ b	۱۸/۶۸ b	۱/۳۱ b	۱۰۱/۵۶ a	۳۹/۰۴	۲/۶۰ a	۱۳۵/۸۳ d	۵۸/۷۹	۲/۳۱	۸۸/۲۸ b	۳۸/۸۴	۲/۲۸
۰/۱۵درصد باکتریوفاژ	۲۵/۰۰ c	۱۷/۰۲ d	۱/۴۶ b	۱۰۲/۰۸ a	۴۲/۵۷	۲/۳۹ c	۱۳۸/۶۷ b	۶۰/۷۱	۲/۲۸	۸۸/۵۸ b	۴۰/۱۰	۲/۲۲
SEM	۶/۹۸	۰/۱۲	۹/۹۷	۰/۴۵	۰/۱۶	۰/۰۶	۰/۴۵	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۲۶	۰/۰۱	۰/۰۲
P-value	۰/۰۲۹	۰/۰۲۳	۰/۰۰۵	۰/۰۲۹	۰/۱۷۴	۰/۰۰۱	۰/۰۱۱	۰/۴۰۵	۰/۹۳۴	۰/۰۰۵	۰/۴۱۵	۰/۳۳۹

a, b, c حروف نامشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار است. SEM: خطای استاندارد میانگین

جدول۳- تاثیر تیمارهای آزمایشی بر شاخص‌های خونی جوجه‌های گوشتی در سن ۴۲ روزگی.

تیمار/ صفت	تری گلیسرید Mg/dL	کلسترول Mg/dL	گلوکز Mg/dL	HDL Mg/dL	LDL Mg/dL	ALT U/L	AST U/L	ALP U/L	پروتئین تام g/dL	آلبومین g/dL
شاهد	۱۴۵/۱۵ a	۹۲ a	۱۶۸/۱۲۵	۳۴b	۲۳/۵ d	۷/۲۵ a	۲۶۴/۰۰	۲۷۴۴/۲۵	۴/۱۰	۱/۶۸
۰/۰۲۵ درصد پروپیوتیک	۱۰۴/۱۴ c	۱۱۷/۹۶ ab	۱۴۸/۹۴	۴۵ab	۳۰/۸ b	۵/۸ ab	۲۵۳/۸۰	۲۶۸۵/۸۰	۴/۲۹	۱/۸۴
۰/۰۵درصد باکتریوفاژ	۱۳۹/۳۴ ab	۱۰۲/۷۰ b	۱۶۵/۳۸	۳۶/۲۰ b	۲۴/۶۰ cd	۶/۰۰ ab	۲۳۵/۲۰	۳۰۸۴/۰۰	۴/۰۸	۱/۵۹
۰/۱درصد باکتریوفاژ	۹۴/۷۲ c	۱۳۷/۶۲ a	۱۶۹/۲۱	۵۱/۲۳ a	۳۳/۶۱ a	۵/۴۰ b	۲۵۲/۸۱	۲۸۰۸/۶۳	۴/۱۵	۱/۷۴
۰/۱۵درصد باکتریوفاژ	۱۲۷/۸۶ b	۱۰۲/۹۶ b	۱۷۳/۴۲	۴۰/۴۳ ab	۲۶/۴۱ cd	۵/۰۰ b	۲۵۲/۴۴	۲۵۲/۴۴	۴/۲۷	۱/۷۳
SEM	۳/۶۶	۶/۹۲	۸/۶۲	۲/۷۱	۰/۷۵	۰/۳۹	۱۰/۹۳	۲۷۳/۵۷	۰/۱۸	۵/۸۱
P-value	۰/۰۲۲	۰/۰۰۲	۰/۳۴۷	۰/۰۰۲	۰/۰۴۵	۰/۰۱۵	۰/۵۲۰	۰/۷۹۱	۰/۸۸۸	۰/۰۹۳

a, b, c حروف نامشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار است. SEM: خطای استاندارد میانگین. ALT: آلانین آمینوترانسفراز، AST: آسپارتات-ترانس-آمیناز، ALP: آلکالین فسفاتاز ، HDL : لیپوپروتئین با چگالی بالا؛ LDL : لیپوپروتئین با چگالی پایین

در مقایسه با گروه شاهد، موجب کاهش معنی‌دار جمعیت اشرشیاکلی و کلی‌فرم در ایلئوم و در سکوم گردید (P<۰/۰۵). با این حال، جمعیت لاکتوباسیلوس‌ها در بخش‌های مختلف روده بین تیمارهای آزمایشی و گروه شاهد تفاوت معنی‌داری نشان نداد (P>۰/۰۵) که این امر بیانگر حفظ جمعیت میکروبی مفید در اثر مصرف باکتریوفاژ است.

بافت‌شناسی روده

نتایج مورفومتری روده باریک (جدول ۵) نشان داد که در مقایسه با گروه شاهد، ارتفاع پرزهای ژژنوم در تیمارهای پروبیوتیک، ۰/۰۵ و ۰/۱۵ درصد باکتریوفاژ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین، نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت در تمام گروه‌های مکمل‌شده نسبت به شاهد بهبود معنی‌داری داشت (P= ۰/۰۰۱). در مقابل، عمق کریپت تنها در تیمار ۰/۱۰ درصد باکتریوفاژ در مقایسه با گروه شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد (P= ۰/۰۳۲).

پاسخ ایمنی

بررسی فراسنجه‌های ایمنی (جدول ۶) نشان داد که

جدول ۴- تاثیر تیمارهای آزمایشی بر جمعیت میکروبی ایلئوم و سکوم روده جوجه‌های گوشتی(لگاریتم واحد تشکیل کلونی به ازای گرم محتویات).

تیمار/صفت	لاکتوباسیل‌ها		کلی فرم‌ها		اشرشیاکلی	
	سکوم	ایلئوم	سکوم	ایلئوم	سکوم	ایلئوم
شاهد	۷/۶۵	۴/۴۸	۷/۰۷ cd	۳/۴۶ a	۶/۸۵ bc	۴/۳۷ a
۰/۰۲۵ درصد پروپیوتیک	۷/۹۶	۴/۷۶	۷/۴۰ ab	۲/۳۹ ab	۷/۱۳ b	۴/۲۴ ab
۰/۰۵درصد باکتریوفاژ	۷/۶۹	۴/۲۸	۷/۶۳ a	۲/۸۹ ab	۷/۴۶ a	۳/۹۴ abc
۰/۱درصد باکتریوفاژ	۷/۹۳	۴/۶۶	۷/۱۹ bc	۱/۸۶ b	۶/۷۸ c	۳/۷۳ bc
۰/۱۵درصد باکتریوفاژ	۷/۸۸	۴/۳۸	۶/۸۸ d	۱/۴۸ c	۶/۵۴ c	۳/۴۳ c
SEM	۰/۶۲	۰/۲۴	۶/۹۳	۰/۲۴	۷/۳۱	۰/۱۳
P-value	۰/۹۹۵	۰/۶۲۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴

a, b, c حروف نامشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار است. SEM: خطای استاندارد میانگین

جدول۵- تاثیر تیمارهای آزمایشی بر خصوصیات بافت‌شناسی روده باریک جوجه‌های گوشتی در سن ۴۲ روزگی.

تیمار/صفت	بافت شناسی روده باریک(ژژنوم)		نسبت ارتفاع پرز/ عمق کریپت
	ارتفاع پرز(میکرومتر)	عمق کریپت (میکرومتر)	
شاهد	۱۹۷۳/۷۶ d	۲۸۵/۴۳ b	۷/۱۹ d
۰/۰۲۵ درصد پروپیوتیک	۲۳۳۰/۳۸ a	۲۸۸/۷۰ b	۸/۵۱ c
۰/۰۵درصد باکتریوفاژ	۲۲۱۲/۷۳ b	۲۲۳/۶۸ b	۹/۸۵ b
۰/۱درصد باکتریوفاژ	۲۰۸۸/۱۹ c	۲۷۸/۱۴ a	۸/۱۵ c
۰/۱۵درصد باکتریوفاژ	۲۲۵۹/۱۹ b	۲۱۱/۱۵ b	۱۰/۷۲ a
SEM	۱۸/۶۱	۲۷/۲۹	۰/۱۴
P-value	۰/۰۲۷	۰/۰۳۲	۰/۰۰۱

حروف نامشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار است. SEM: خطای استاندارد میانگین

وزن نسبی اندام‌های لنفاوی (طحال، تیموس و بورس فابرسیوس) بین تیمارها و گروه شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵). با این حال، درصد سلول‌های هتروفیل و نسبت هتروفیل به لنفوسیت (H/L) در تیمارهای پروبیوتیک و ۰/۱۵ درصد باکتریوفاژ در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری یافت (به‌ترتیب با سطح احتمال ۰/۰۰۴ و ۰/۰۲۲). همچنین، درصد لنفوسیت‌های خون در تیمارهای ۰/۱۰ و ۰/۱۵ درصد باکتریوفاژ به‌طور معنی‌داری بالاتر از گروه شاهد بود (P=۰/۰۰۲). از نظر تیتر آنتی‌بادی، عیار آنتی‌بادی علیه ویروس نیوکاسل در تیمار ۰/۰۵ درصد باکتریوفاژ (P=۰/۰۳۴) و علیه ویروس گامبورو در تیمارهای ۰/۰۵ و ۰/۱۵ درصد باکتریوفاژ (P= ۰/۰۰۱) در مقایسه با گروه شاهد به‌طور معنی‌داری بالاتر بود.

خصوصیات لاشه و اندام‌های درونی

نتایج بررسی لاشه و اندام‌های درونی (جدول ۷) نشان داد که در مقایسه با گروه شاهد، درصد وزن نسبی سینه و ران در تمام تیمارهای مکمل‌شده افزایش معنی‌داری داشت (به ترتیب P= ۰/۰۲۸ و P= ۰/۰۰۱) در مقابل، درصد لاشه کل در گروه‌های دریافت‌کننده مکمل نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد (P= ۰/۰۳۳). همچنین، وزن نسبی کبد، قلب و چربی حفره شکمی در تیمارهای مکمل‌شده -به‌ویژه سطوح ۰/۱۰ و ۰/۱۵ درصد باکتریوفاژ- در مقایسه با گروه شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (P< ۰/۰۵). وزن نسبی سنگدان نیز تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت و اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت (P>۰/۰۵).

بحث

یافته‌های این پژوهش نشان داد که افزودن پروبیوتیک و سطوح مختلف باکتریوفاژ به جیره جوجه‌های گوشتی تأثیرات معنی‌داری بر عملکرد رشد، سلامت روده، وضعیت متابولیک و پاسخ سامانه ایمنی دارد. به‌ویژه، استفاده از سطح ۰/۰۵ درصد باکتریوفاژ در دوره آغازین منجر به بهبود ضریب تبدیل غذایی و افزایش وزن روزانه شد. این یافته با مطالعات اخیر همخوانی دارد که گزارش کرده‌اند کوکتل‌های باکتریوفاژی با کاهش بار میکروبی بیماری‌زا، جذب مواد مغذی و کارایی متابولیک را در جوجه‌های گوشتی بهبود می‌بخشند (۱۰، ۱۶ ، ۲۰). مکانیسم احتمالی این پدیده، کاهش رقابت برای مواد مغذی و جلوگیری از ترشح اندوتوکسین‌هایی مانند لیپوپلی‌ساکارید (LPS) توسط باکتری‌های لیزشده است؛ ترکیباتی که در صورت حضور، موجب فعال‌سازی سیتوکین‌های پیش‌التهابی و اتلاف انرژی می‌گردند.

کاهش معنی‌دار جمعیت اشرشیاکلی و کلی‌فرم‌ها در ایلئوم و سکوم، به‌ویژه در تیمار ۰/۱۵ درصد باکتریوفاژ، اثربخشی بالینی این مکمل را تأیید می‌کند. این نتیجه با مطالعه عید و همکاران (۱۷) و آتربوری و همکاران (۵) همخوانی دارد که نشان دادند باکتریوفاژها به‌عنوان یک کنترل بیولوژیک مؤثر، به‌طور اختصاصی باکتری‌های بیماری‌زای مقاوم به آنتی‌بیوتیک را در روده جوجه‌های گوشتی هدف قرار می‌دهند. نکته حائز اهمیت، عدم تأثیر معنی‌دار تیمارها بر جمعیت لاکتوباسیلوس است که نشان می‌دهد باکتریوفاژها به‌صورت هدفمند عمل کرده و جمعیت میکروبی مفید (میکروبیوتا) را حفظ می‌کنند؛ مزیتی که در مقایسه با آنتی‌بیوتیک‌ها بسیار چشمگیر است (۱۴).

افزایش طول پرز و بهبود نسبت پرز به کریپت در گروه‌های تیماری، نشان‌دهنده سلامت بهتر روده و گسترش سطح جذب است. بیشترین نسبت پرز به کریپت در ایلئوم در گروه پروبیوتیک مشاهده شد که با یافته‌های اواد و همکاران (۴) و هاشمی‌تبار و همکاران (۱۸) همخوانی دارد؛ مکمل‌های پروبیوتیک و باکتریوفاژ با افزایش عمق مخاط و ارتفاع پرز، ظرفیت جذب مواد مغذی را ارتقا می‌دهند. در سطح ۰/۱۵ درصد باکتریوفاژ، کاهش عمق کریپت مشاهده شد که می‌تواند نشان‌دهنده کاهش التهاب روده و کاهش نیاز به تکثیر سلولی جبرانی باشد.

کاهش معنی‌دار تری‌گلیسرید و آنزیم آلانین آمینوترانسفراز (ALT) در گروه‌های دریافت‌کننده باکتریوفاژ به‌ویژه سطوح ۰/۱۰ و ۰/۱۵ درصد نشان‌دهنده بهبود عملکرد کبدی و تعدیل متابولیسم لیپیدی است. این نتایج با یافته‌های سیسلیک و همکاران (۱۴) و عبدالرحیم و همکاران (۱۳) همسو است که گزارش کردند جایگزین‌های طبیعی از طریق تعدیل جمعیت میکروبی روده، تولید متابولیت‌های التهابی را کاهش داده، بیان ژن‌های لیپوژنز را پایین آورده و از آسیب کبدی جلوگیری می‌کنند. کاهش چربی شکمی و افزایش وزن نسبی سینه در گروه ۰/۱۵ درصد باکتریوفاژ،

جدول۶- تاثیر تیمارهای آزمایشی بر پاسخ ایمنی جوجه‌های گوشتی در سن ۴۲ روزگی.

تیمار/صفت	وزن نسبی (درصد از وزن لاشه) اندام‌های لنفاوی بورس فابرسیوس	تیموس	طحال	فراسنجه های ایمونولوژیکی خون (درصد) هتروفیل	لنفوسیت	نسبت هتروفیل به لنفوسیت	تیتر آنتی بادی نیوکاسل	گامبورو
شاهد	۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۲۳	۱۷/۰۰ b	۸۳/۰۰ b	۰/۲۰ b	۳/۰۰ ab	۶۱۹۸/۲۵ b
۰/۰۲۵ درصد پروپیوتیک	۰/۱۵	۰/۳۹	۰/۲۴	۲۱/۰۰ a	۷۹/۰۱ c	۰/۲۶ a	۲/۶۰ ab	۶۸۱۳/۸۰ b
۰/۰۵درصد باکتریوفاژ	۰/۱۲	۰/۳۷	۰/۲۲	۱۱/۸۰ c	۸۸/۲۰ c	۰/۱۳ c	۳/۶۰ a	۸۸۸۷/۴۰ a
۰/۱درصد باکتریوفاژ	۰/۱۲	۰/۳۷	۰/۱۹	۱۶/۸۲ b	۸۳/۲۲ b	۰/۲۰ b	۳/۰۰ ab	۶۹۷۲/۴۰ b
۰/۱۵درصد باکتریوفاژ	۰/۱۵	۰/۳۷	۰/۱۹	۱۸/۴۰ b	۸۱/۶۱ b	۰/۲۲ b	۲/۴۰ b	۹۸۲۴/۵۰ a
SEM	۰/۱۵	۰/۶۸	۰/۲۴	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۷۵	۰/۳۵	۴۲۱/۱۵
P-value	۰/۱۷۳	۰/۰۶۵	۰/۰۶۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰,۰۲۲۰	۰/۰۳۴	۰/۰۰۱

a, b, c حروف نامشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار است. SEM: خطای استاندارد میانگین

نشان‌دهنده هدایت بهینه انرژی به سمت رشد عضله به جای تجمع چربی است؛ یافته‌ای که با مطالعات اخیر درباره تأثیر مثبت کوکتل باکتریوفاژی بر صفات لاشه همسو می‌باشد (۲۰).

افزایش تیتر آنتی‌بادی علیه ویروس بیماری نیوکاسل در تیمار ۰/۰۵ درصد باکتریوفاژ و علیه ویروس بیماری گامبورو در تیمار ۰/۱۵ درصد نشان می‌دهد که باکتریوفاژها نه‌تنها به‌عنوان عوامل ضدباکتریایی، بلکه به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های ایمنی عمل می‌کنند. شواهد جدید نشان می‌دهند که مکمل‌سازی جیره با باکتریوفاژ می‌تواند پاسخ ایمنی هومورال را تقویت کرده، پتانسیل تولید آنتی‌بادی و تنظیم پاسخ التهابی را در جوجه‌های گوشتی بهبود بخشد (۱۲ ، ۱۹). این ویژگی، باکتریوفاژها را به ابزاری چندوجهی در مدیریت سلامت گله تبدیل می‌کند (۱۵).

نتیجه‌گیری

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که اثرات باکتریوفاژ وابسته به سطح مصرف است؛ به‌طوری‌که سطح ۰/۰۵ درصد بهینه‌ترین مقدار از دیدگاه عملکرد رشد و پاسخ ایمنی علیه نیوکاسل است، در حالی‌که سطح ۰/۱۵ درصد برای مدیریت چربی، بهبود کیفیت لاشه و تقویت ایمنی علیه گامبورو مناسب‌تر است. این وابستگی به سطح مصرف نشان می‌دهد که باکتریوفاژها ابزاری قابل تنظیم در تغذیه مدرن طیور هستند. در مقایسه با پروبیوتیک، باکتریوفاژها برتری آشکاری در کاهش چربی و بهبود کارایی متابولیک دارند، اگرچه پروبیوتیک در بهبود ریخت‌شناسی روده عملکرد مطلوب‌تری نشان داد. بنابراین، باکتریوفاژ نه‌تنها می‌تواند به‌عنوان یک جایگزین مؤثر برای آنتی‌بیوتیک‌ها مطرح شود، بلکه امکان استفاده از آن به‌عنوان یک افزودنی استراتژیک برای هدف‌گیری هم‌زمان چندین جنبه از سلامت و عملکرد جوجه‌های گوشتی را فراهم می‌کند.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند هیچگونه تعارض منافعی وجود ندارد.

منابع مورد استفاده

1. Mehdi Y, Létourneau-Montminy MP, Gaucher ML, Chorfi Y, Suresh G, Rouissi T, Brar SK, Côté C, Ramirez AA, Godbout S. Use of antibiotics in broiler production: Global impacts and alternatives. Anim Nutr. 2018 Jun;4(2):170-178. doi: 10.1016/j.aninu.2018.03.002. Epub 2018 Apr 3. PMID: 30140756; PMCID: PMC6103476.

2. Gadde U, Kim WH, Oh ST, Lillehoj HS.

جدول۷- تاثیر تیمارهای آزمایشی بر خصوصیات لاشه (درصد از وزن لاشه) و وزن نسبی اندام‌های درونی (به صورت درصد از وزن لاشه خالص) جوجه های گوشتی در سن ۴۲ روزگی.

تیمار/صفت	سنگدان	کبد	قلب	چربی حفره شکمی	سینه (درصد)	ران (درصد)	لاشه (درصد از وزن زنده)
شاهد	۳/۸۶	۳/۶۲ b	۰/۸۴ a	۱/۲۱ d	۳۵/۹۲ c	۲۶/۹۴ b	۶۴/۴۵ a
۰/۰۲۵ درصد پروپیوتیک	۴/۲۵	۴/۲۴ a	۰/۷۸ b	۱/۹۰ c	۳۷/۹۱ b	۳۰/۳۴ a	۶۰/۶۳ d
۰/۰۵درصد باکتریوفاژ	۳/۸۴	۳/۶۳ b	۰/۷۱ c	۲/۲۰ b	۳۷/۹۳ b	۲۹/۹۲ a	۶۲/۴۲ c
۰/۱درصد باکتریوفاژ	۴/۶۷	۳/۴۵ c	۰/۶۳ d	۲/۶۰ a	۳۸/۲۴ ab	۳۰/۳۹ a	۶۲/۳۰ c
۰/۱۵درصد باکتریوفاژ	۴/۰۲	۳/۳۲ c	۰/۶۸ c	۱/۸۵ c	۳۸/۵۳ a	۲۹/۷۴ a	۶۳/۶۱ b
SEM	۰/۷۵	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۱۶
P-value	۰/۰۹۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۲۸	۰/۰۰۱	۰/۰۳۳

a, b, c حروف نامشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار است. SEM: خطای استاندارد میانگین

Alternatives to antibiotics for maximizing growth performance and feed efficiency in poultry: a review. Anim Health Res Rev. 2017 Jun;18(1):26-45. doi: 10.1017/S1466252316000207. Epub 2017 May 9. PMID: 28485263.

3. Markowiak P, Śliżewska K. Effects of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics on Human Health. Nutrients. 2017 Sep 15;9(9):1021. doi: 10.3390/nu9091021. PMID: 28914794; PMCID: PMC5622781.4.

4. Awad WA, Ghareeb K, Böhm J, Zentek J. Effects of probiotics on gut health and performance of broilers. Eur Poult Sci. 2017;81. doi:10.1399/eps.2017.178

5. Atterbury RJ, Van Bergen MA, Ortiz F, Lovell MA, Harris JA, De Boer A, Wagenaar JA, Allen VM, Barrow PA. Bacteriophage therapy to reduce salmonella colonization of broiler chickens. Appl Environ Microbiol. 2007 Jul;73(14):4543-9. doi: 10.1128/AEM.00049-07. Epub 2007 May 25. PMID: 17526794; PMCID: PMC1932804

6. Kuźmińska-Bajor M, Kuczkowski M, Konkol D, Korczyński M, Rakicka-Pustułka M, Kozioł S, Tomaszewska-Hetman L & Rywińska A. 2025. Environmental Application of a Bacteriophage Cocktail Reduces Antibiotic-Resistant *Escherichia coli* in Poultry Litter Without Disrupting Gut Microbiota. Animals, 15(17), 2525. doi.org/10.3390/ani15172525

7. Van Boeckel TP, Pires J, Silvester R, Zhao C, Song J, Criscuolo NG. Global trends in antimicrobial resistance in animals in low and middle income countries. Science. 2019;365(6459). doi:10.1126/science.aaw1944

8. World Organisation for Animal Health (WOAH). Antimicrobial resistance. 2023 [cited 2025 Dec 8]. Available from: https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/

9. Diaz-Sanchez S, D'Souza D, Biswas S, Hanning I. Probiotics, butyric acid, and essential oils: alternatives to antibiotics in poultry production. In: Alternative Strategies to Antibiotics in Poultry Production. Cham: Springer; 2015. p. 113–125. doi:10.1007/978-3-319-20544-7_8

10. ElSharkawy H, ElMoghazy M, El-Messery SM, Alghadir AH. Bacteriophages as an alternative strategy for controlling bacterial pathogens in poultry. Microorganisms. 2020;8(3):369. doi:10.3390/microorganisms8030369

11. Jamalludin MSR, Awad WA, Ghareeb K, Böhm J, Zentek J. Bacteriophage therapy for control of *E. coli* in poultry: a review. Vet World. 2020;13(10):2279–2285. doi:10.14202/vetworld.2020.2279-2285

12. Wang J, Wang X, Zhang Y, Wang Y. Bacteriophage therapy enhances immune responses in broilers challenged with *Salmonella Typhimurium*. Poult Sci. 2019;98(12):6621–6628. doi:10.3382/ps/pez428

13. Abdulrahim SM, AlKassie GAM, AlHumadi NH. Dietary inclusion of phytogenic and probiotic supplements improves liver function and lipid metabolism in broilers. Saudi J Biol Sci. 2021;28(1):905–911. doi:10.1016/j.sjbs.2020.09.031

14. Cieślik M, Józefiak D, Zduńczyk Z, Juśkiewicz J, Goliński P. Impact of bacte-

riophage supplementation on lipid metabolism and carcass characteristics in broilers. Animals (Basel). 2022;12(15):1880. doi:10.3390/ani12151880

15. Koskella B, Brockhurst MA. Bacteria–phage coevolution as a driver of ecological and evolutionary processes in microbial communities. FEMS Microbiol Rev. 2014;38(5):916–931. doi:10.1111/1574-6976.12072

16. Toro H, Higgins SE, Higgins JP. Use of bacteriophages in combination with competitive exclusion to reduce Salmonella in poultry. Avian Dis. 2005;49(1):118–124. doi:10.1637/7287-092504R

17. Eid S, Tolba HMN, Hamed RI, Al-Atfeehy NM. Bacteriophage therapy as an alternative biocontrol against emerging multidrug resistant *E. coli* in broilers. Saudi J Biol Sci. 2022;29(5):3380-3389.

18. Hashemitabar SH, Hosseinian SA. The comparative effects of probiotics on growth, antioxidant indices and intestinal histomorphology of broilers under heat stress condition. Sci Rep. 2024;14:23471.

19. Sarrami Z, Sedghi M, Mohammadi I, Kim WK, Mahdavi AH. Effects of bacteriophage supplement on the growth performance, microbial population, and PGC-1α and TLR4 gene expressions of broiler chickens. Scientific Reports. 2022;12:14391.

20. Upadhaya SD, Ahn JM, Cho JH, Kim JY, Kang DK, Kim SW, et al. Bacteriophage cocktail supplementation improves growth performance, gut microbiome and production traits in broiler chickens. J Anim Sci Biotechnol. 2021;12:49.