DOI: 10.22092/VJ.2026.373683.2291 No:152 autumn 1405 *Veterinary Research & Biological Products*

Original Article

Effects of sodium butyrate combined with enzyme supplementation on growth performance, carcass traits, nutrient digestibility, and blood immunological and biochemical parameters in broiler chickens fed corn- or wheat-based diets

Rahmatollah Kia Ghadi, Vahid Rezaeipour, Mehdi Chobchian, Sakineh Asadzadeh, Rohullah Abdullahpour

Department of Animal Science, QaS.C, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.

Submited: 2026.07.26 Accepted: 2026.09.11
Revised: 2026.09.09 Published: 2026.10.01

*Corresponding author: vrezaeipour@iau.ac.ir

Abstract

Introduction: The use of additives such as enzymes and sodium butyrate is an effective method to mitigate the negative effects of cereal grains in poultry nutrition. **Objective:** In this experiment, the effects of sodium butyrate, natugrain enzyme supplementation, and grain type, along with their interactions, were evaluated on growth performance, carcass characteristics, nutrient digestibility, and blood parameters in broiler chickens. **Methods:** The experiment was designed using 400 male broiler chicks of the Ross 308 commercial strain, with eight treatments and five replications. The experimental treatments were arranged in a 2×2×2 factorial design, including two levels of sodium butyrate (0 and 500 mg/kg), two levels of enzyme (0 and 100 mg/kg), and two types of diet (corn- and wheat-based). **Results:** Throughout the entire rearing period, the feed conversion ratio was significantly improved in corn-based diets supplemented with both sodium butyrate and the enzyme. ($P < 0.05$). The use of wheat increased the relative weight of the gizzard, decreased that of the liver, and increased the length of the ceca ($P < 0.05$). Enzyme supplementation increased blood triglyceride concentrations in broilers ($P < 0.05$). Antibody titers against Newcastle disease decreased in chickens fed sodium butyrate ($P < 0.05$). The inclusion of wheat in the diet reduced the digestibility of dry matter, ether extract, and apparent metabolizable energy ($P < 0.05$). Moreover, the addition of sodium butyrate and the enzyme increased the digestibility of crude protein and apparent metabolizable energy ($P < 0.05$). **Conclusions:** It can be concluded that the use of enzyme and sodium butyrate improved the feed conversion ratio and nutrient digestibility in broiler chickens fed diets containing different grains. Additionally, a reduction in antibody titers against Newcastle disease was observed in diets supplemented with sodium butyrate.

Keywords: Cereal type, Butyrate, Enzyme, Digestibility, Broiler chicken

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.2026.373683.2291

مقاله کامل

اثرات سدیم بوتیرات در ترکیب با آنزیم بر عملکرد رشد، ویژگی‌های لاشه، قابلیت هضم مواد مغذی و فراسنجه‌های ایمنی و بیوشیمیایی خون در جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با جیره‌های بر پایه ذرت یا گندم

رحمت‌الله کیاقادی، وحید رضایی‌پور*، مهدی چوبچیان، سکینه اسدزاده، روح‌الله عبدالله‌پور

گروه علوم دامی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم شهر، قائم‌شهر، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۵/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۶/۱۸ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱

* نویسنده مسئول: vrezaeipour@iau.ac.ir

چکیده

مقدمه: استفاده از افزودنی‌هایی مانند آنزیم و سدیم بوتیرات روشی موثر برای کاهش اثرات منفی دانه‌های غلات در تغذیه طیور است. **هدف:** در این آزمایش تأثیر سدیم بوتیرات، آنزیم ناتوگرین و نوع غله به همراه اثرات متقابل آنها بر شاخص‌های رشد، لاشه، قابلیت هضم مواد مغذی و فراسنجه‌های خونی در جوجه‌های گوشتی بررسی شد. روش کار: آزمایش با ۴۰۰ قطعه جوجه خروس گوشتی از سویهٔ تجاری راس ۳۰۸ با هشت تیمار و ۵ تکرار طراحی گردید. تیمارهای آزمایشی در قالب یک آزمایش فاکتوریل (۲×۲×۲) شامل دو سطح سدیم بوتیرات (۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم)، دو سطح آنزیم (۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم) و دو نوع جیره (بر پایه ذرت و گندم) بود. **نتایج:** در کل دوره پرورش، ضریب تبدیل غذایی در جیره‌های بر پایه دانه ذرت، همراه با افزودنی سدیم بوتیرات و آنزیم، بهبود معنی‌داری نشان داد ($P<0/05$). استفاده از گندم به ترتیب سبب افزایش وزن نسبی سنگدان، کاهش وزن نسبی کبد و افزایش طول روده‌های کور شد ($P<0/05$). استفاده از آنزیم باعث افزایش غلظت تری‌گلیسریدهای خون جوجه‌های گوشتی شد ($P<0/05$). تیتر آنتی‌بادی علیه نیوکاسل در جوجه‌های تغذیه شده با سدیم بوتیرات کاهش یافت ($P<0/05$). استفاده از گندم در جیره موجب کاهش قابلیت هضم ماده خشک، عصاره اتری و انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری شد ($P<0/05$). همچنین، افزودن سدیم بوتیرات و آنزیم سبب افزایش قابلیت هضم پروتئین خام و انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری شد ($P<0/05$). **نتیجه‌گیری نهایی:** می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از آنزیم و سدیم بوتیرات سبب بهبود ضریب تبدیل غذایی و قابلیت هضم مواد مغذی در جوجه‌های گوشتی دریافت‌کننده جیره‌های حاوی غلات مختلف شد. همچنین، کاهش تیتر آنتی‌بادی علیه نیوکاسل در جیره‌های حاوی سدیم بوتیرات مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: نوع غله؛ بوتیرات؛ آنزیم؛ قابلیت هضم؛ جوجه گوشتی

مقدمه

دانه‌های غلات مانند ذرت و گندم، به دلیل انرژی بالا، منابع اصلی تأمین انرژی در جیره‌های طیور در سراسر جهان محسوب می‌شوند. با این وجود، استفاده از جیره‌های بر پایه گندم در مقایسه با جیره‌های بر پایه ذرت، چالش‌های تغذیه‌ای را در جوجه‌های گوشتی ایجاد می‌کند که عمدتاً ناشی از تفاوت در نوع و غلظت پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای (NSPs) آنها است (۱). دانه گندم با سطوح بالای پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای محلول، به ویژه آرابینوزایلان‌ها، ویسکوزیته محتویات روده را افزایش داده، در نتیجه دسترسی آنزیم‌های گوارشی به مواد مغذی و متعاقبا جذب آنها را کاهش می‌دهد (۲). در مقابل، ذرت دارای سطوح پایین‌تری از پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای است که عمدتاً از پلی‌ساکاریدهای نامحلول مانند سلولز و همی‌سلولز تشکیل شده‌اند و در مقایسه با گندم، افزایش قابل‌توجهی در ویسکوزیته روده ایجاد نمی‌کنند (۳). از نظر محتوای انرژی، گزارش شده است که غلظت پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای موجود در گندم، همبستگی معکوسی با مقادیر انرژی قابل‌متابولیسم ظاهری در جوجه‌های گوشتی دارد (۴). برای کاهش این چالش‌ها در جیره‌های بر پایه غلات، افزودن آنزیم‌های برون‌زاد مانند زایلاناز یا ترکیبی از کربوهیدرازها مانند زایلاناز و بتاگلوکاناز، به ویژه در جیره‌های بر پایه گندم، می‌تواند برای کاهش ویسکوزیته و بهبود عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی مفید باشد (۵).

در سال‌های اخیر، آنزیم‌های کربوهیدراز برون‌زاد مانند زایلاناز و بتاگلوکاناز به عنوان ترکیبات مفید در تغذیه جوجه‌های گوشتی محسوب شده‌اند، زیرا سبب کاهش اثرات ضدتغذیه‌ای پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای محلول در غلات جیره می‌شوند (۶). آرابینوزایلان‌ها و بتاگلوکان‌های محلول، ویسکوزیته محتویات روده را افزایش می‌دهند که این امر انتشار مواد مغذی را کاهش، هضم را کند کرده و دسترسی آنزیم‌های درون‌زاد به مواد مغذی را محدود می‌سازد (۷). مکانیسم عملکرد این آنزیم‌ها شامل کاهش ویسکوزیته محتویات روده، تجزیه پیوندهای پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای محلول، کاهش محصورشدگی مواد مغذی و در نتیجه غیرفعال‌سازی این ترکیبات ضدتغذیه‌ای است (۸). این آنزیم‌ها همچنین به آزادسازی نشاسته و پروتئین محبوس‌شده در ماتریس دیواره سلولی گیاه کمک کرده و در نتیجه دسترسی به انرژی و اسیدهای آمینه را برای رشد افزایش می‌دهند (۹). از طرفی، شواهد نشان می‌دهد که محصولات هیدرولیز حاصل از فعالیت این آنزیم‌ها، به ویژه زایلوالیگوساکاریدها (XOS) و گلوکوالیگوساکاریدها، با تحریک انتخابی رشد باکتری‌های مفید روده مانند لاکتوباسیلوس و بیفیدوباکتریوم و در عین حال مهار تکثیر میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا از جمله *کلستریدیوم پرفرینجنس* و *اشریشیا کلی*، اثرات پری‌بیوتیکی اعمال می‌کنند (۱۰). این تغییرات میکروبی، تولید اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه را افزایش، یکپارچگی اپیتلیوم را حفظ و التهاب روده را کاهش می‌دهد و در نهایت به سلامت بهتر روده و استفاده بهینه از مواد مغذی کمک می‌کند (۱۱).

اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه (SCFAs) به عنوان ترکیباتی مفید برای کنترل باکتری‌های بیماری‌زا در طیور شناخته شده‌اند (۱۲). اما برخلاف سایر اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه، اسید بوتیریک منبع اصلی انرژی برای انتروسیت‌ها محسوب می‌شود و نقش حیاتی در رشد مناسب بافت لنفاوی مرتبط با روده (GALT) و حفظ یکپارچگی مخاط روده ایفا می‌کند (۱۳). در سال‌های اخیر، افزودن مشتقات بوتیرات مانند سدیم بوتیرات به عنوان یک راهبرد کلیدی در تغذیه جوجه‌های گوشتی برای بهبود سلامت روده و عملکرد رشد مطرح شده است (۱۴). گزارش شده است که سدیم بوتیرات افزایش یکپارچگی بافت مخاطی روده را از طریق بهبود رشد پرزها و تعدیل جمعیت میکروبی انجام می‌دهد (۱۵). بیشتر مطالعات پیشین، سدیم بوتیرات را به عنوان یک افزودنی منفرد خوراکی بررسی کرده‌اند، در حالی که گزارشات در مورد اثر متقابل آن با آنزیم‌های کربوهیدراز برون‌زاد و نوع منبع غله در تغذیه جوجه‌های گوشتی محدود است. بنابراین، با توجه به اثرات نامطلوب جیره‌های بر پایه گندم که سرشار از پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای محلول هستند، انتظار می‌رود که مکمل‌سازی جیره با آنزیم، این اثرات مضر را کاهش داده و سلامت دستگاه گوارش را ارتقا بخشد. علاوه بر این، فرض بر این است که اثرات هم‌افزایی آنزیم‌های کربوهیدراز (بر پایه زایلاناز و بتاگلوکاناز) و سدیم بوتیرات به شکل دوگانه، یا در ترکیب با جیره‌های بر پایه گندم یا ذرت (اثرات متقابل سه گانه)، با کاهش ویسکوزیته

محتویات روده و کاهش اختلالات مرتبط با یکپارچگی مخاط روده همراه بوده و عملکرد کلی جوجه‌های گوشتی را بهبود خواهد بخشید.

بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی اثرات سدیم بوتیرات و آنزیم ناتوگرین بر عملکرد رشد، ویژگی‌های لاشه، قابلیت هضم مواد مغذی و فراسنجه‌های خونی و ایمنی در جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با جیره‌های بر پایه ذرت یا گندم بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با هشت تیمار و به صورت فاکتوریل ۲×۲×۲ اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل دو سطح استفاده از سدیم بوتیرات (۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیره)، دو سطح استفاده از آنزیم (۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آنزیم ناتوگرین در جیره) و دو نوع غله مصرفی شامل دانه ذرت و دانه گندم بود. میزان استفاده از آنزیم در این تحقیق بر اساس توصیه شرکت سازنده بود. برای هر تیمار، پنج تکرار شامل ۱۰ قطعه جوجه گوشتی نر از سویه تجاری راس ۳۰۸ در نظر گرفته شد. در این تحقیق، هر تکرار به عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شده است. تمام جیره‌های آزمایشی از نظر انرژی قابل متابولیسم ظاهری و سایر مواد مغذی مشابه بودند و مطابق با توصیه‌های راهنمای سویه راس ۳۰۸ برای دوره های آغازین (۱ تا ۱۰ روزگی)، رشد (۱۱ تا ۲۴ روزگی) و پایانی (۲۵ تا ۴۲ روزگی) تهیه شدند. جیره‌ها به شکل آردی تهیه شدند و آب و خوراک در کل دوره پرورش به صورت آزاد در اختیار پرندگان قرار گرفتند. سیستم نوردهی به صورت ۲۳ ساعت روشنایی و یک ساعت تاریکی بود. در روز اول پرورش، دمای سالن نگهداری بر روی ۳۳ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد و سپس به تدریج و به صورت هفتگی ۳ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت.

آنزیم مورد استفاده در این تحقیق Natugrain TS بود و از یک تأمین‌کننده تجاری (شرکت BASF، کشور آلمان) تهیه شد. این فرآورده آنزیمی دارای دو فعالیت آنزیمی شامل اندو-۱،۴-β-زایلاناز (با فعالیت ۵۶۰۰ واحد TXU بر گرم) و اندو-۱،۴-β-گلوکاناز (با فعالیت ۲۵۰۰ واحد TGU بر گرم) بود. سدیم بوتیرات مورد استفاده نیز از یک شرکت تجاری (Adisseo، فرانسه) تأمین گردید و حاوی ۸۰٪ اسید بوتیریک و ۲۰٪ سدیم بود که در یک ماتریس فیزیکی-شیمیایی از نمک‌های بافر قرار داشت. مشخصات جیره‌های آزمایشی در جدول شماره ۱ آمده است.

در پایان دوره پرورش، میزان خوراک مصرفی و افزایش وزن بدن پرندگان برای هر تکرار (واحد آزمایشی) ثبت شد و ضریب تبدیل غذایی در هر واحد آزمایشی محاسبه و یادداشت گردید. تعیین صفات لاشه در پایان دوره (روز ۴۲) انجام شد؛ بدین صورت که از هر تکرار، دو قطعه جوجه با وزن میانگین نزدیک به میانگین واحد آزمایشی انتخاب و توزین شدند. پس از کشتار، محتویات شکم، امعا و احشا و چربی حفره شکمی تخلیه شد و وزن ران، سینه، کبد، سنگدان و طول روده‌های کور اندازه‌گیری شد. سپس درصد اجزای لاشه نسبت به وزن زنده هر جوجه محاسبه گردید.

در روز ۳۵ دوره آزمایش، از سیاهرگ بال یک پرنده در هر پن، نمونه‌گیری خون انجام شد و پس از سانتریفیوژ (۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه)، سرم خون جدا شد. قبل از خونگیری، پرندگان به مدت ۴ ساعت از خوراک محروم شدند تا نمونه‌گیری خون در شرایط ناشتا انجام شود.. مقادیر گلوکز، کلسترول، تری‌گلیسرید، HDL و آلبومین، با استفاده از کیت‌های بیوشیمیایی تجاری پارس آزمون (۹۵۰۰۷; LOT) و مطابق با دستورالعمل سازنده اندازه‌گیری شدند.

برای بررسی وضعیت ایمنی، وزن نسبی اندام‌های لنفوئیدی شامل طحال و بورس فابریسیوس اندازه‌گیری شد. بر اساس دستورالعمل بهداشتی منطقه، واکسن نیوکاسل B1 و لاسوتا به ترتیب در سنین ۹ و ۱۸ روزگی داده شدند. برای بررسی ایمنی هومورال، هفت روز پس از دادن دوز دوم واکسن نیوکاسل (سن ۲۵ روزگی)، تیتر آنتی‌بادی علیه ویروس نیوکاسل نیز با استفاده از روش‌های سرولوژیکی استاندارد اندازه‌گیری شد.

برای تعیین قابلیت هضم مواد مغذی شامل ماده خشک، خاکستر کل، پروتئین خام، چربی خام و انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری تصحیح شده برای نیتروژن، از نمونه‌های مربوط به دو سوم انتهایی ایلئوم جوجه‌ها استفاده شد. برای این منظور، از هر تکرار یک پرنده انتخاب شد (در مجموع ۵ قطعه به ازای هر تیمار) و به قفس‌های آزمایش قابلیت هضم منتقل گردید. به عبارتی، برای انجام آزمایش قابلیت هضم ایلئومی مواد مغذی، از هر پرنده به عنوان یک تکرار استفاده شد. اکسید کروم به مقدار ۳ گرم بر کیلوگرم جیره به عنوان

مارکر، در روزهای ۳۸ تا ۴۲ به جیره این پرندگان افزوده شد. در روز ۴۲، تمامی این جوجه‌ها با روش جابه‌جایی مهره‌های گردنی کشتار شدند و محتویات دو سوم انتهایی ایلئوم هر جوجه (تکرار) با دقت در ظروف استریل جمع‌آوری و در فریزر نگهداری شدند. سپس برای خشک شدن، به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

مقدار ماده خشک، خاکستر کل، پروتئین خام و چربی خام در نمونه‌های خوراک و ایلئومی بر اساس روش‌های AOAC (۲۰۰۲) اندازه‌گیری شد. همچنین غلظت اکسید کروم در نمونه‌های ایلئومی با روش فنتون و فنتون (۱۹۷۹) اندازه‌گیری شد (۱۶). پس از تعیین داده‌های خام، قابلیت هضم هر یک از مواد مغذی با استفاده از فرمول مربوطه محاسبه گردید (۱۷).

کلیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (۱۸) نسخه ۹/۲ و با رویه GLM مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی در سطح احتمال P<۰/۰۵ استفاده شد. در این آزمایش، واحد آزمایشی برای صفات عملکرد، هر پن (تکرار) حاوی ۱۰ قطعه جوجه گوشتی در نظر گرفته شد، در حالی که برای اندازه گیری قابلیت هضم و فراسنجه‌های خونی، هر جوجه به عنوان یک واحد آزمایشی مستقل لحاظ گردید. همچنین، به منظور ارزیابی صفات لاشه، از هر تکرار دو قطعه جوجه انتخاب شدند و از میانگین دو مشاهده در هرپن به عنوان داده واحد آزمایشی در تحلیل آماری استفاده شد.

مدل آماری طرح به صورت زیر بود:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + Ck + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + e_{ijk}$$

در این مدل آماری Y_{ijk}: ارزش هر مشاهده، μ: میانگین مشاهدات، A_i: اثر سطح آنزیم، B_j: اثر سدیم بوتیرات، C_k: اثر نوع غله، AB_{ij}: اثر متقابل دو عامل سطح آنزیم و سدیم بوتیرات، AC_{ik}: اثر متقابل دو عامل سطح آنزیم و نوع غله، BC_{jk}: اثر متقابل دو عامل سدیم بوتیرات و نوع غله، ABC_{ijk}: اثر متقابل سه گانه و e_{ijk}: اثر خطای آزمایشی بود.

نتایج

نتایج جدول ۲ نشان داد استفاده از گندم به عنوان غله در جیره، مصرف خوراک جوجه‌ها را در دوره‌ی رشد افزایش داد (P<۰/۰۵). همچنین استفاده از سدیم بوتیرات بر مصرف خوراک جوجه‌ها در دوره‌ی رشد تاثیر معنی‌دار داشت (P<۰/۰۵)، و مقدار آن را کاهش داد. اثر آنزیم ناتوگرین نیز موجب کاهش مصرف خوراک جوجه‌ها در دوره‌های آغازین، پایانی و کل دوره‌ی پرورش شد (P<۰/۰۵). بر اساس نتایج جدول ۳، اثرات اصلی و متقابل سه عامل غله، سدیم بوتیرات، و آنزیم ناتوگرین در جیره، تاثیری بر مقدار افزایش وزن جوجه های گوشتی در دوره های مختلف آزمایش نداشت (P<۰/۰۵). نتایج حاصل از جدول ۴ نشان داد که استفاده از ذرت در جیره در مقایسه با گندم، موجب بهبود ضریب تبدیل غذایی در کل دوره‌ی پرورش شد (P<۰/۰۵). از طرفی، افزودن سدیم بوتیرات به جیره موجب بهبود ضریب تبدیل غذایی جوجه‌ها در دوره‌های رشد، پایانی و کل دوره‌ی پرورش شد (P<۰/۰۵). اثر افزودن آنزیم ناتوگرین به جیره بر ضریب تبدیل غذایی جوجه‌ها در همه‌ی دوره‌های پرورشی مورد مطالعه معنی‌دار بود (P<۰/۰۵) و موجب بهبود ضریب تبدیل غذایی شد. اثرات متقابل سه گانه بر هیچ یک از صفات عملکرد رشد در جوجه های گوشتی معنی‌دار نبود.

بر اساس نتایج جدول ۵، استفاده از گندم به جای ذرت در جیره موجب کاهش معنی‌دار در قابلیت هضم ماده خشک، عصاره اتری و انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری شد (P<۰/۰۵). استفاده از سدیم بوتیرات در جیره موجب افزایش قابلیت هضم پروتئین خام و انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری شد (P<۰/۰۵). همچنین، افزودن آنزیم ناتوگرین به جیره موجب افزایش قابلیت هضم ماده خشک، پروتئین خام، عصاره اتری و انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری جیره در جوجه‌ی گوشتی شد (P<۰/۰۵). از طرفی اثرات متقابل سه گانه برای انرژی قابل متابولیسم ظاهری معنی‌دار بود (P<۰/۰۵).

بر اساس نتایج جدول ۶، استفاده از گندم در جیره‌ی جوجه‌های گوشتی موجب افزایش وزن نسبی سنگدان، کاهش وزن نسبی کبد و نیز افزایش طول روده‌های کور شد (P<۰/۰۵). همچنین، افزودن سدیم بوتیرات و آنزیم به جیره موجب افزایش درصد وزن سنگدان شد (P<۰/۰۵). اثرات متقابل سه‌گانه بر هیچ یک از صفات لاشه در جوجه‌های

گوشتی معنی‌دار نبود.

نتایج مربوط به اثر تیمارهای آزمایشی بر فراسنجه‌های خونی جوجه‌های گوشتی در سن ۳۵ روزگی در جدول ۷ ارائه داده شده است. بر اساس نتایج این جدول، اثر آنزیم بر میزان تری‌گلیسرید خون جوجه‌های گوشتی موثر بوده و به طور معنی‌داری آن را افزایش داد (P<۰/۰۵). سایر فراسنجه‌های خونی تحت اثرات اصلی و متقابل نوع غله، سدیم بوتیرات و آنزیم کربوهیدراز قرار نگرفتند(P<۰/۰۵). اثرات متقابل

جدول ۱- ترکیبات مواد خوراکی و مواد مغذی جیره‌های آزمایشی.

ترکیبات (درصد)	بر پایه دانه ذرت			بر پایه دانه گندم		
	آغازین	رشد	پایانی	آغازین	رشد	پایانی
ذرت	۵۵/۴۲	۵۸/۸۷	۶۲/۹۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
گندم	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۵۵/۴۰	۵۸/۸۰	۶۳/۴۱
کنجاله سویا (۴۳ درصد)	۳۵/۲۹	۳۳/۱۰	۳۰/۷۰	۳۴/۵۰	۳۲/۰۰	۲۸/۳۱
گلوتن ذرت	۳/۰۰	۱/۸۰	۰/۰۰	۲/۱۰	۱/۱۰	۰/۰۰
روغن سویا	۱/۵۰	۲/۱۰	۲/۶۰	۳/۲۰	۳/۹۸	۴/۴۷
سنگ آهک	۱/۳۸	۱/۱۴	۱/۰۸	۱/۳۳	۱/۰۵	۰/۹۸
دی کلسیم فسفات	۱/۸۵	۱/۶۰	۱/۴۴	۱/۸۵	۱/۶۵	۱/۵۳
جوش شیرین	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۱۸
نمک	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۲۰	۰/۲۰
مکمل ویتامینی	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
مکمل معدنی	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
دی ال-متیونین	۰/۲۹	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۲۵
ال-لیزین هیدروکلراید	۰/۲۸	۰/۲۰	۰/۱۲	۰/۲۹	۰/۱۸	۰/۱۳
ال-ترئونین	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۴
انرژی قابل سوخت‌وساز (کیلوکالری/ کیلوگرم)	۲۹۵۰۰۰/	۳۰۰۰۰۰/	۳۰۵۰۰۰/	۲۹۵۰۰۰/	۳۰۰۰۰۰/	۳۰۵۰۰۰/
پروتئین خام (درصد)	۲۲/۴۰	۲۰/۹۵	۱۹/۰۵	۲۲/۴۰	۲۰/۹۵	۱۹/۰۵
کلسیم (درصد)	۱/۰۲	۰/۸۷	۰/۸۰	۱/۰۲	۰/۸۷	۰/۸۰
فسفر قابل دسترس (درصد)	۰/۴۹	۰/۴۳	۰/۴۰	۰/۴۹	۰/۴۳	۰/۴۰
سدیم (درصد)	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۱۸
لیزین (درصد)	۱/۴۱	۱/۳۰	۱/۱۲	۱/۴۱	۱/۳۰	۱/۱۲
متیونین+سیستئین (درصد)	۱/۰۶	۰/۹۵	۰/۸۷	۱/۰۶	۰/۹۵	۰/۸۷
ترئونین (درصد)	۰/۹۴	۰/۸۵	۰/۷۶	۰/۹۴	۰/۸۵	۰/۷۶

[۱] هر kg مکمل ویتامینه حاوی ۳۶۰۰۰۰۰ IU ویتامین A; ۸۰۰۰۰۰ IU ویتامین D۳; ۲۶۴ mg ویتامین B۱;۷۲۰ mg ویتامین K ;۸۰۰ mg ویتامین E ;۷۲۰۰ IU ویتامین B۲ ;۴۰۰۰ mg ویتامین B۳; ۱۲۰۰۰ mg نیاسین; ۴۰۰ mg اسید فولیک; ۴۰۰ mg بیوتین; ۱۰۰۰۰۰ mg کولین کلراید و ۴۰۰۰۰ mg آنتی اکسیدان و هر kg مکمل معدنی حاوی: ۳۹۶۸۰ mg منگنز; ۳۳۸۸۰ mg روی; ۴۰۰۰ mg مس; ۴۰۰ mg ید و ۸۰ mg سلنیوم بود.

سه‌گانه بر هیچ یک از صفات فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون در جوجه‌های گوشتی معنی‌دار نبود.

نتایج مربوط به اثر تیمارهای آزمایشی بر تیتر آنتی‌بادی علیه بیماری نیوکاسل و نیز وزن اندام‌های لنفاوی (طحال و بورس فابریسیوس) در جدول ۸ ارائه شده است. همان‌طور که آماره‌های این جدول نشان می‌دهد تیتر آنتی‌بادی علیه نیوکاسل در جوجه‌هایی که با جیره‌ی حاوی سدیم بوتیرات تغذیه شدند، به صورت معنی‌داری کاهش یافت ($p<0/05$). اثرات متقابل نوع غله، سدیم بوتیرات و آنزیم ناتوگرین در جیره بر درصد وزن طحال معنی‌دار بود ($p<0/05$).

جدول ۲- تاثیر تیمارهای آزمایشی بر مقدار خوراک مصرفی (گرم) جوجه های گوشتی در دوره های مختلف پرورش.

نوع غله	سدیم بوتیرات	آنزیم	آغازین	رشد	پایانی	کل
ذرت	-	-	۳۶۱/۰۲	۱۲۳۹/۱۱	۲۴۳۰/۴۴	۴۰۳۰/۰۱
	-	+	۳۵۷/۳۳	۱۲۳۴/۲۱	۲۲۶۸/۶۲	۳۸۶۰/۹۱
	+	-	۳۵۵/۲۷	۱۲۰۴/۳۵	۲۵۰۷/۹۲	۴۰۶۷/۴۵
	+	+	۳۴۷/۹۱	۱۱۸۰/۱۳	۲۲۷۷/۵۱	۳۸۰۵/۲۲
گندم	-	-	۳۶۲/۸۰	۱۲۷۵/۵۴	۲۵۶۳/۸۹	۴۲۰۱/۷۶
	-	+	۳۴۹/۰۵	۱۲۲۴/۰۲	۲۳۸۴/۶۹	۳۹۵۶/۴۹
	+	-	۳۵۹/۳۲	۱۲۳۸/۰۰	۲۴۶۵/۳۷	۴۰۶۲/۳۲
	+	+	۳۵۱/۶۸	۱۲۲۵/۴۶	۲۳۰۱/۰۵	۳۸۷۷/۲۸
SEM			۳/۵۲	۱۷/۵۴	۵۵/۸۳	۶۲/۸۴
اثرات اصلی						
ذرت			۳۵۵/۳۱	۱۲۱۴/۲۲^{b}	۲۳۷۰/۱۹	۳۹۴۰/۰۳
گندم			۳۵۵/۷۲	۱۲۴۰/۳۰^{a}	۲۴۲۸/۲۳	۴۰۲۴/۱۱
	-		۳۵۷/۵۰	۱۲۴۳/۱۹^{a}	۲۴۱۱/۰۹	۴۰۱۲/۲۷
	+		۳۵۳/۵۱	۱۲۱۲/۲۰^{b}	۲۳۸۷/۰۱	۳۹۵۳/۰۴
		-	۳۵۹/۶۲^{a}	۱۲۳۹/۴۱	۲۴۹۱/۱۸^{a}	۴۰۹۰/۰۲^{a}
		+	۳۵۱/۴۱^{b}	۱۲۱۶/۳۳	۲۳۰۷/۴۵^{b}	۳۸۷۴/۱۵^{b}
منبع تنوع						
نوع غله			۰/۸۹	۰/۰۴	۰/۱۵	۰/۰۶
بوتیرات			۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۵	۰/۱۹
آنزیم			۰/۰۰۲	۰/۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
غله×بوتیرات			۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۰۹	۰/۲۶
غله×آنزیم			۰/۳۰	۰/۴۸	۰/۷۶	۰/۹۸
بوتیرات×آنزیم			۰/۷۹	۰/۲۲	۰/۳۷	۰/۷۱
غله×بوتیرات×آنزیم			۰/۳۳	۰/۲۶	۰/۵۹	۰/۴۰

در هر ستون، میانگین های فاقد حروف مشابه اختلاف آماری معنی داری دارند ($P<0/50$). SEM: خطای استاندارد میانگین.

بحث

یافته‌های این مطالعه نشان داد که استفاده از سدیم بوتیرات و آنزیم کربوهیدراز (ناتوگرین) در جیره‌های بر پایه ذرت یا گندم، تأثیرات معنی‌داری بر عملکرد رشد، قابلیت هضم مواد مغذی، برخی ویژگی‌های لاشه و فراسنجه‌های بیوشیمیایی و ایمنی خون در جوجه‌های گوشتی دارد. بر اساس نتایج این تحقیق، ضریب تبدیل غذایی در پرندگانی که جیره بر پایه‌ی ذرت دریافت کردند، در مقایسه با جیره‌های بر پایه گندم بهبود یافت. این یافته با نتایج مطالعات پیشین که بهبود ضریب تبدیل خوراک را در جوجه‌های گوشتی

جدول ۳- تاثیر تیمارهای آزمایشی بر افزایش وزن (گرم) جوجه‌های گوشتی در دوره‌های مختلف پرورش.

نوع غله	سدیم بوتیرات	آنزیم	آغازین	رشد	پایانی	کل
ذرت	-	-	۲۸۰/۳۱	۷۹۱/۴۴	۱۱۹۰/۳۱	۲۲۶۱/۰۷
	-	+	۲۸۵/۶۳	۸۱۳/۲۳	۱۱۸۱/۱۲	۲۲۸۰/۱۱
	+	-	۲۷۵/۷۴	۷۸۳/۶۱	۱۲۳۲/۰۹	۲۲۹۱/۳۲
	+	+	۲۷۷/۳۰	۷۷۸/۶۵	۱۱۹۶/۱۷	۲۲۵۲/۵۰
گندم	-	-	۲۷۹/۶۱	۸۰۱/۸۳	۱۲۱۹/۲۶	۲۳۰۰/۳۶
	-	+	۲۷۴/۶۴	۷۸۶/۸۰	۱۲۲۰/۰۱	۲۲۸۱/۰۳
	+	-	۲۷۶/۸۷	۸۰۰/۴۱	۱۲۲۹/۴۵	۲۳۰۶/۴۶
	+	+	۲۸۵/۶۰	۸۱۳/۲۰	۱۱۸۱/۲۷	۲۲۸۰/۵۲
SEM			۲/۸۷	۱۲/۲۲	۲۵/۱۶	۳۳/۸۱
اثرات اصلی						
ذرت			۲۷۹/۷۱	۷۹۱/۷۳	۱۲۰۰/۳۴	۲۲۷۱/۰۶
گندم			۲۷۹/۱۰	۸۰۰/۵۰	۱۲۱۲/۲۱	۲۲۹۲/۳۵
	-		۲۸۰/۳۲	۷۹۸/۳۲	۱۲۰۲/۵۶	۲۲۸۱/۰۸
	+		۲۷۸/۹۱	۷۹۴/۳۴	۱۲۰۹/۰۲	۲۲۸۲/۲۲
		-	۲۷۸/۱۴	۷۹۴/۳۰	۱۲۱۷/۰۵	۲۲۹۰/۱۷
		+	۲۸۰/۸۲	۷۹۷/۹۲	۱۱۹۵/۱۳	۲۲۷۳/۴۱
منبع تنوع						
نوع غله			۰/۷۷	۰/۳۱	۰/۴۸	۰/۳۹
بوتیرات			۰/۵۷	۰/۶۱	۰/۶۹	۰/۹۴
آنزیم			۰/۱۹	۰/۶۷	۰/۲۱	۰/۵۰
غله × بوتیرات			۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۲۳	۰/۹۷
غله × آنزیم			۰/۶۹	۰/۵۸	۰/۹۷	۰/۷۹
بوتیرات × آنزیم			۰/۹۷	۰/۶۲	۰/۷۳	۰/۲۹
غله × بوتیرات × آنزیم			۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۷۶	۰/۶۰

در هر ستون، میانگین های فاقد حروف مشابه اختلاف آماری معنی‌داری دارند ($P<۰/۵۰$). SEM: خطای استاندارد میانگین.

در مقایسه با جیره‌های بر پایه‌ی ذرت، جیره‌های بر پایه‌ی گندم به دلیل محتوای بالاتر پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای محلول، ویسکوزیته‌ی بیشتری دارند که این امر منجر به کاهش کارایی استفاده از مواد مغذی در طیور، به‌ویژه در جوجه‌های جوان می‌شود (۲۱، ۲۲).

تغذیه شده با جیره بر پایه‌ی ذرت نسبت به جیره‌های بر پایه‌ی گندم گزارش کرده بودند، همخوانی دارد (۱۹، ۲۰). از سوی دیگر، با توجه به کاهش قابلیت هضم در جیره های بر پایه گندم، عدم اختلاف معنی‌دار در افزایش وزن بین دو غله احتمالا ناشی از مصرف بیشتر خوراک بوده است.

جدول ۴- تاثیر تیمارهای آزمایشی بر ضریب تبدیل غذایی جوجه‌های گوشتی در دوره‌های مختلف پرورش.

نوع غله	سدیم بوتیرات	آنزیم	آغازین	رشد	پایانی	کل
ذرت	–	–	۱/۲۹	۱/۵۷	۲/۰۴	۱/۷۸
	–	+	۱/۲۵	۱/۵۲	۱/۹۲	۱/۶۹
	+	–	۱/۲۹	۱/۵۴	۲/۰۴	۱/۷۸
	+	+	۱/۲۵	۱/۵۲	۱/۹۰	۱/۶۹
گندم	–	–	۱/۳۰	۱/۵۹	۲/۱۰	۱/۸۳
	–	+	۱/۲۷	۱/۵۶	۱/۹۵	۱/۷۳
	+	–	۱/۳۰	۱/۵۵	۲/۰۱	۱/۷۶
	+	+	۱/۲۳	۱/۵۱	۱/۹۵	۱/۷۱
SEM			۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱
اثرات اصلی						
ذرت			۱/۲۷	۱/۵۳	۱/۹۸ b	۱/۷۳ b
گندم			۱/۲۷	۱/۵۵	۲/۰۰ a	۱/۷۶ a
	–		۱/۲۸	۱/۵۶ a	۲/۰۰ a	۱/۷۶ a
	+		۱/۲۷	۱/۵۳ b	۱/۹۷ b	۱/۷۳ b
		–	۱/۲۹ a	۱/۵۶ a	۲/۰۵ a	۱/۷۹ a
		+	۱/۲۵ b	۱/۵۲ b	۱/۹۳ b	۱/۷۰ b
منبع تنوع						
نوع غله			۰/۷۱	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۱
بوتیرات			۰/۳۲	۰/۰۰۴	۰/۰۳	۰/۰۰۴
آنزیم			۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
غله × بوتیرات			۰/۳۲	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۰۱
غله × آنزیم			۰/۵۶	۰/۸۴	۰/۴۲	۰/۴۸
بوتیرات × آنزیم			۰/۱۴	۰/۸۵	۰/۵۰	۰/۲۹۳
غله × بوتیرات × آنزیم			۰/۲۷	۰/۳۷	۰/۰۸	۰/۴۸

در هر ستون، میانگین های فاقد حروف مشابه اختلاف آماری معنی‌داری دارند ($P<0/50$). SEM: خطای استاندارد میانگین.

یکی از عوامل محدودکننده‌ی جایگزینی گندم به‌جای ذرت در جیره جوجه‌های گوشتی، غلظت بالاتر پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای محلول در گندم است که می‌تواند بر سلامت روده و عملکرد رشد پرندگان تأثیر منفی داشته باشد (۲۰).

بر اساس یافته‌های این مطالعه، استفاده از گندم در مقایسه با ذرت منجر به کاهش معنی‌دار قابلیت هضم ماده خشک، عصاره اتری و انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری (AME) گردید. این یافته‌ها با مطالعات پیشین که گزارش کرده‌اند

جدول ۵- تاثیر تیمارهای آزمایشی بر قابلیت هضم ظاهری ایلئومی مواد مغذی (٪) جوجه‌های گوشتی.

نوع غله	سدیم بوتیرات	آنزیم	ماده خشک	پروتئین خام	عصاره اتری	انرژی متابولیسمی ظاهری (kcal/kg)	خاکستر
ذرت	–	–	۸۳/۰۲	۷۰/۴۲	۷۰/۸۱	۲۹۹۲/۲۲ ab	۴۹/۰۵
	–	+	۸۷/۶۳	۷۲/۶۵	۷۲/۲۳	۳۰۰۶/۳۵ ab	۵۴/۴۴
	+	–	۸۳/۸۵	۷۲/۰۱	۷۱/۰۳	۲۹۹۷/۵۱ ab	۵۰/۴۲
	+	+	۸۶/۰۳	۷۷/۰۶	۷۳/۰۴	۳۰۲۱/۳۸ a	۵۱/۰۶
گندم	–	–	۷۹/۶۲	۷۲/۴۲	۶۶/۲۳	۲۹۵۲/۴۳ b	۴۷/۸۳
	–	+	۸۵/۶۱	۷۱/۶۲	۷۱/۸۵	۳۰۰۱/۰۹ ab	۵۰/۰۷
	+	–	۸۱/۲۲	۷۳/۲۶	۶۸/۲۶	۲۹۸۹/۰۳ ab	۵۰/۰۲
	+	+	۸۵/۰۷	۷۶/۴۸	۷۰/۶۷	۳۰۰۹/۴۷ ab	۴۹/۲۲
SEM			۱/۴۴	۱/۱۷	۰/۹۹	۷/۴۸	۱/۶۱
اثرات اصلی							
ذرت			۸۵/۱۲ a	۷۳/۰۶	۷۱/۸۲ a	۳۰۰۴/۴۴ a	۵۱/۲۳
گندم			۸۲/۸۳ b	۷۳/۴۳	۶۹/۲۲ b	۲۹۸۸/۳۵ b	۴۹/۲۰
	–		۸۴/۰۶	۷۱/۸۵ b	۷۰/۲۱	۲۹۸۸/۷۶ b	۵۰/۳۲
	+		۸۴/۰۲	۷۴/۷۲ a	۷۰/۷۶	۳۰۰۴/۳۹ a	۵۰/۱۸
		–	۸۱/۹۱ b	۷۲/۰۸ b	۶۹/۰۵ b	۲۹۸۲/۲۳ b	۴۹/۳۷
		+	۸۶/۰۴ a	۷۴/۴۷ a	۷۱/۹۶ a	۳۰۰۹/۱۲ a	۵۱/۱۱
منبع تنوع							
نوع غله			۰/۰۳	۰/۶۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۹
بوتیرات			۰/۹۶	۰/۰۰۱	۰/۵۲	۰/۰۰۵	۰/۸۹
آنزیم			۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۱
غله × بوتیرات			۰/۶۶	۰/۹۰	۰/۹۴	۰/۲۴	۰/۴۶
غله × آنزیم			۰/۴۶	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۳۲
بوتیرات × آنزیم			۰/۲۶	۰/۰۴	۰/۳۶	۰/۳۸	۰/۰۹
غله × بوتیرات × آنزیم			۰/۹۶	۰/۷۲	۰/۱۸	۰/۰۳	۰/۶۹

در هر ستون، میانگین های فاقد حروف مشابه اختلاف آماری معنی‌داری دارند ($P<0/50$). SEM: خطای استاندارد میانگین.

پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای محلول موجود در گندم (به ویژه آرابینوزایلان‌ها)، با افزایش ویسکوزیته محتویات روده، باعث کاهش دسترسی آنزیم‌های گوارشی به بسترهای خود و اختلال در جذب مواد مغذی می‌شوند، همخوانی دارد (۱، ۲). محتوای بالای پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای محلول در غلاتی مانند گندم با افزایش ویسکوزیته محتویات گوارشی و اثرات نامطلوب بر فرآیندهای هضم و جذب، از جمله کاهش انتشار مواد مغذی به سطح جذب‌کننده اپیتلیوم در

جدول ۶- اثر تیمارهای آزمایشی بر وزن نسبی اندام‌های داخلی (درصدی از وزن زنده) جوجه‌های گوشتی در سن ۴۲ روزگی

نوع غله	سدیم بوتیرات	آنزیم	وزن سنگدان	وزن کبد	طول روده های کور	وزن سینه	وزن ران
ذرت	–	–	۲/۱۴	۲/۱۳	۱۳/۴۲	۲۵/۸	۲۱/۰۲
	–	+	۲/۵۳	۲/۳۴	۱۳/۸۱	۲۵/۰	۲۱/۶۱
	+	–	۲/۴۱	۲/۲۹	۱۴/۴۷	۲۵/۲	۲۰/۲۰
	+	+	۲/۷۸	۲/۷۵	۱۴/۲۳	۲۷/۸	۲۳/۳۴
گندم	–	–	۲/۳۲	۲/۲۶	۱۵/۰۷	۲۵/۸	۱۹/۲۲
	–	+	۲/۴۹	۲/۰۹	۱۵/۴۵	۲۵/۳	۲۰/۳۷
	+	–	۲/۷۴	۱/۹۲	۱۴/۴۸	۲۶/۳	۲۱/۷۲
	+	+	۲/۸۷	۲/۰۳	۱۵/۰۶	۲۵/۹	۲۱/۴۴
SEM			۰/۰۷	۰/۱۷	۰/۶۷	۱/۲۶	۱/۱۶
اثرات اصلی							
ذرت			۲/۴۶ b	۲/۳۸ a	۱۳/۹۱ b	۲۵/۹۲	۲۱/۵۲
گندم			۲/۶۰ a	۲/۰۸ b	۱۴/۹۴ a	۲۵/۸۰	۲۰/۷۱
	–		۲/۳۷ b	۲/۲۱	۱۴/۴۲	۲۵/۵۳	۲۰/۵۰
	+		۲/۷۰ a	۲/۲۵	۱۴/۵۵	۲۶/۳۶	۲۱/۷۳
		–	۲/۴۰ b	۲/۱۵	۱۴/۳۶	۲۵/۸۲	۲۰/۵۵
		+	۲/۶۷ a	۲/۳۰	۱۴/۶۴	۲۶/۰۱	۲۱/۶۴
منبع تنوع							
نوع غله			۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۹۰	۰/۲۸
بوتیرات			۰/۰۰۱	۰/۷۳	۰/۸۳	۰/۳۶	۰/۱۷
آنزیم			۰/۰۰۱	۰/۲۳	۰/۵۳	۰/۸۰	۰/۱۸
غله × بوتیرات			۰/۲۳	۰/۰۵	۰/۲۱	۰/۷۶	۰/۳۹
غله × آنزیم			۰/۰۴	۰/۱۵	۰/۶۷	۰/۴۵	۰/۳۷
بوتیرات × آنزیم			۰/۷۳	۰/۲۸	۰/۸۳	۰/۳۴	۰/۷۴
غله × بوتیرات × آنزیم			۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۶۷	۰/۳۶	۰/۲۵

در هر ستون، میانگین های فاقد حروف مشابه اختلاف آماری معنی‌داری دارند ($P<۰/۵۰$). SEM: خطای استاندارد میانگین.

جوجه‌های گوشتی مرتبط است (۷). علاوه بر این، کاهش سرعت عبور مواد هضم شونده در دستگاه گوارش جوجه‌های گوشتی در نتیجه استفاده از پلی ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای محلول و اثرات آن بر کاهش قابلیت هضم مواد مغذی و عملکرد رشد گزارش شده است (۲۳). کاهش قابلیت هضم چربی در جیره‌های حاوی دانه گندم نیز در این تحقیق قابل توجه بود. این امر می‌تواند به دلیل اتصال اسیدهای صفراوی توسط پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای محلول و در نتیجه اختلال در امولسیون‌سازی و تشکیل میسل‌های لیپیدی باشد (۸). مکانیسم اثر آنزیم‌های تجزیه‌کننده پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای در بهبود قابلیت هضم چربی می‌تواند مربوط به کاهش ویسکوزیته و بهبود دسترسی به اسیدهای صفراوی

جدول ۷- اثر تیمارهای آزمایشی بر فراسنجه‌های خونی (میلی گرم بر دسی لیتر) جوجه‌های گوشتی در سن ۳۵ روزگی.

نوع غله	سدیم بوتیرات	آنزیم	آلبومین	گلوکز	کلسترول	تری گلیسرید	HDL
ذرت	–	–	۱/۵۵	۱۳۳/۴۲	۱۴۳/۷۳	۶۵/۰۴	۶۲/۹۳
	–	+	۱/۷۶	۱۵۴/۵۱	۱۳۷/۶۰	۷۱/۰۹	۷۲/۹۰
	+	–	۱/۶۲	۱۵۱/۸۴	۱۳۱/۰۸	۵۵/۹۲	۷۵/۱۲
	+	+	۱/۶۴	۱۵۸/۸۰	۱۳۵/۷۱	۷۲/۸۷	۶۹/۷۳
گندم	–	–	۱/۵۵	۱۵۲/۸۱	۱۳۵/۴۷	۵۲/۳۳	۷۱/۹۵
	–	+	۱/۷۶	۱۵۴/۵۵	۱۳۷/۶۵	۷۱/۰۷	۷۲/۹۶
	+	–	۱/۶۰	۱۶۳/۱۳	۱۰۸/۲۲	۶۲/۸۷	۸۰/۱۸
	+	+	۱/۶۴	۱۵۸/۸۲	۱۳۵/۷۰	۷۲/۸۴	۶۹/۷۳
SEM			۰/۱۵	۸/۶۸	۱۱/۲۳	۴/۹۴	۶/۵۸
اثرات اصلی							
ذرت			۱/۶۴	۱۴۹/۶۳	۱۳۷/۰۹	۶۶/۲۳	۷۰/۲۲
گندم			۱/۶۴	۱۵۷/۳۳	۱۲۹/۲۲	۶۴/۷۲	۷۳/۷۲
	–		۱/۶۶	۱۴۸/۸۱	۱۳۸/۵۰	۶۴/۸۱	۷۰/۲۴
	+		۱/۶۲	۱۵۸/۱۳	۱۲۷/۶۴	۶۶/۱۶	۷۳/۷۵
		–	۱/۵۸	۱۵۰/۳۴	۱۲۹/۶۱	۵۹/۰۳ [b]	۷۲/۵۱
		+	۱/۷۰	۱۵۶/۷۵	۱۳۶/۶۰	۷۱/۹۰ [a]	۷۱/۳۳
منبع تنوع							
نوع غله			۰/۹۵	۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۶۸	۰/۴۵
بوتیرات			۰/۷۶	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۷۲	۰/۴۶
آنزیم			۰/۲۷	۰/۳۰	۰/۳۸	۰/۰۰۱	۰/۷۹
غله × بوتیرات			۰/۹۷	۰/۷۴	۰/۶۴	۰/۱۷	۰/۸۳
غله × آنزیم			۰/۹۵	۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۶۸	۰/۴۵
بوتیرات × آنزیم			۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۲۶	۰/۸۷	۰/۱۵
غله × بوتیرات × آنزیم			۰/۹۷	۰/۷۴	۰/۶۴	۰/۱۷	۰/۸۳

در هر ستون، میانگین های فاقد حروف مشابه اختلاف آماری معنی‌داری دارند ($P<۰/۵۰$). SEM: خطای استاندارد میانگین.

و در نتیجه، برهم‌کنش بهتر اسیدهای صفراوی با قطرات چربی باشد (۱۰).

افزایش وزن نسبی سنگدان و طول روده‌های کور در پرندگان تغذیه‌شده با گندم، نشان‌دهنده پاسخ تطبیقی دستگاه گوارش به محتوای بالای فیبر نامحلول و احتمالاً حضور الیگوساکاریدهای قابل تخمیر است. هیپرتروفی سنگدان که در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (۱۱، ۲۴). به عنوان یک مکانیسم جبرانی برای افزایش زمان ماندگاری و بهبود هضم مکانیکی ذرات الیاف خام خوراک شناخته می‌شود. افزایش طول روده‌های کور نیز با افزایش قابلیت تخمیر مواد باقیمانده توسط جمعیت میکروبی و تولید بیشتر اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه مرتبط است که می‌تواند تا

جدول ۸- اثر تیمارهای آزمایشی بر تیتر آنتی‌بادی علیه بیماری نیوکاسل و وزن اندام‌های لنفاوی جوجه‌های گوشتی.

نوع غله	سدیم بوتیرات	آنزیم	تیتر آنتی‌بادی نیوکاسل	وزن طحال (درصد)	وزن بورس (درصد)
ذرت	–	–	۲/۶۶	۰/۱۱ ^{a}	۰/۰۶
	–	+	۲/۶۱	۰/۱۲ ^{a}	۰/۰۷
	+	–	۲/۳۵	۰/۱۲ ^{a}	۰/۰۷
	+	+	۲/۳۴	۰/۱۰ ^{ab}	۰/۰۷
گندم	–	–	۲/۴۵	۰/۱۱ ^{a}	۰/۰۶
	–	+	۲/۴۹	۰/۰۹ ^{ab}	۰/۰۶
	+	–	۲/۳۳	۰/۱۲ ^{a}	۰/۰۷
	+	+	۲/۳۱	۰/۱۲ ^{a}	۰/۰۷
SEM			۰/۱۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷
اثرات اصلی					
ذرت			۲/۴۹	۰/۱۱۴	۰/۰۷
گندم			۲/۴۰	۰/۱۱۲	۰/۰۷
	–		۲/۵۵ ^{a}	۰/۱۰۹	۰/۰۶
	+		۲/۳۳ ^{b}	۰/۱۱۷	۰/۰۷
		–	۲/۴۵	۰/۱۱۷	۰/۰۷
		+	۲/۴۴	۰/۱۰	۰/۰۷
منبع تنوع					
نوع غله			۰/۲۶	۰/۷۴	۰/۹۸
بوتیرات			۰/۰۱	۰/۱۴	۰/۱۳
آنزیم			۰/۹۰	۰/۱۵	۰/۸۲
غله × بوتیرات			۰/۴۱	۰/۰۵	۰/۶۱
غله × آنزیم			۰/۸۰	۰/۴۸	۰/۸۲
بوتیرات × آنزیم			۰/۹۳	۰/۶۳	۰/۸۴
غله × بوتیرات × آنزیم			۰/۷۹	۰/۰۴	۰/۵۸

در هر ستون، میانگین های فاقد حروف مشابه اختلاف آماری معنی‌داری دارند ($P<0/50$). SEM: خطای استاندارد میانگین.

حدودی کمبود انرژی ناشی از کاهش هضم را جبران کند (۲). کاهش وزن نسبی کبد در جوجه‌های دریافت‌کننده گندم نیز ممکن است با کاهش بار متابولیک ناشی از تفاوت در متابولیسم لیپیدها و گلوکز مرتبط باشد.

نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن آنزیم ناتوگرین (حاوی زایلاناز و بتاگلوکاناز) به جیره، ضمن کاهش خوراک مصرفی، باعث بهبود معنی‌دار ضریب تبدیل غذایی در کل دوره پرورش شد. این بهبود عملکرد رشد را شاید بتوان به افزایش قابلیت هضم ماده خشک، پروتئین خام، چربی خام و انرژی قابل سوخت و ساز نسبت داد که با گزارشات قبلی از اثر مثبت آنزیم‌های کربوهیدراز در جیره‌های حاوی غلات با پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای محلول بالا همسو است (۵، ۶). مکانیسم اصلی آنزیم‌های کربوهیدراز، تجزیه پیوندهای گلیکوزیدی در پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای محلول (به ویژه آرابینوزایلان‌ها و بتاگلوکان‌ها) است که منجر به کاهش ویسکوزیته محتویات روده و متعاقباً افزایش دسترسی آنزیم‌های درون‌زاد به مواد مغذی محصور در ماتریس دیواره سلولی می‌شود (۱۰) از سوی دیگر، گزارش شده است که بهبود استفاده از انرژی قابل سوخت‌وساز ناشی از افزودن زایلاناز همراه با فیتاز، ممکن است به دلیل افزایش قابلیت دسترسی جوجه‌های گوشتی به مواد مغذی در نتیجه استفاده از آنزیم باشد که در نهایت سبب بهبود عملکرد رشد می‌شود (۲۵).

در مطالعه حاضر، گنجاندن سدیم بوتیرات در جیره تأثیر معنی‌داری بر ضریب تبدیل غذایی در جوجه‌های گوشتی داشت. پیش از این گزارش شده است که افزودن اسیدهای چرب با زنجیره متوسط، چه به صورت اسیدهای آزاد و چه به صورت مشتقات استری‌شده، می‌تواند منجر به بهبود کارایی استفاده از مواد مغذی و بازده تولید در جوجه‌های گوشتی شود (۱۲). همچنین از اسید بوتیریک به عنوان عاملی بسیار مهم برای تحریک رشد انتروسیت‌ها و در نتیجه بهبود عملکرد رشد در جیره طیور استفاده شده است (۲۶). با این حال، تأثیر افزودن سدیم بوتیرات بر عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی با یافته‌های پیشین متناقض است؛ به‌گونه‌ای که برخی محققان اثرات مفیدی را گزارش کرده‌اند (۱۴، ۱۵). در حالی که گروهی دیگر بهبود چشمگیری مشاهده نکرده‌اند (۲۷). این پاسخ‌های متناقض احتمالا نشاندهنده تأثیر عوامل دیگری مانند سن پرنده، ترکیب مواد مغذی جیره، غلظت سدیم بوتیرات افزوده‌شده، منبع یا نوع مشتق بوتیرات مصرفی، و شرایط محیطی دوره پرورش است. از سوی دیگر، بهبود عملکرد رشد در جوجه‌های گوشتی در این مطالعه را می‌توان به افزایش قابلیت هضم پروتئین خام و انرژی قابل سوخت‌وساز در جوجه‌های گوشتی مصرف‌کننده این مکمل نسبت داد که با یافته‌های پیشین مطابقت دارد. بر اساس یافته‌های پیشین، بوتیرات به عنوان منبع انرژی اصلی برای سلول‌های اپیتلیال روده (انتروسیت‌ها) عمل کرده و از طریق افزایش تکثیر سلولی و کاهش آپوپتوز، به حفظ یکپارچگی ساختاری و عملکردی مخاط روده کمک می‌کند (۱۳، ۱۴). این اثرات ساختاری ممکن است با افزایش طول و تراکم پرزهای روده، سطح جذب مواد مغذی را افزایش داده و در نتیجه هضم و جذب پروتئین و انرژی را بهبود بخشیده و در نهایت موجب بهبود ضریب تبدیل غذایی و به طور کلی عملکرد رشد پرنده می‌شود.

به‌جز افزایش تری‌گلیسرید خون در پاسخ به آنزیم، سایر فراسنجه‌های بیوشیمیایی (گلوکز، کلسترول، HDL، آلبومین) تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفتند. نتایج پژوهش‌های قبلی در مورد تأثیر نهایی این آنزیم‌ها بر غلظت تری‌گلیسریدهای خون متناقض است. گزارش شده است که استفاده از آنزیم‌های کربوهیدراز خارجی در جیره جوجه‌های گوشتی بر پایه ذرت و کنجاله سویا، سبب افزایش غلظت گلوکز در سرم خون شد، هر چند سایر متابولیت‌های بیوشیمیایی خون تحت تاثیر قرار نگرفتند (۲۸).

کاهش معنی‌دار تیتر آنتی‌بادی علیه ویروس نیوکاسل در تیمارهای دریافت‌کننده سدیم بوتیرات، یافته‌ای قابل تأمل است. بر خلاف این نتیجه، در گزارش‌های دیگر، اثرات تعدیل‌کنندگی مثبت بوتیرات بر ایمنی و افزایش پاسخ آنتی‌بادی ارائه شده است (۲۹). کاهش تیتر آنتی‌بادی در مطالعه حاضر را می‌توان با مکانیسم‌های مطرح شده در مطالعات پیشین توجیه کرد. بر این اساس گزارش شده است که ممکن است بوتیرات با کاهش التهاب سیستمیک از طریق تعدیل محور ایمنی مخاطی- سیستمیک، نیاز به پاسخ‌های ایمنی تطبیقی قوی را کاهش دهد. در این حالت، پاسخ آنتی‌بادی پایین‌تر لزوماً نشان‌دهنده نقص ایمنی نیست، بلکه می‌تواند نمایانگر کاهش بار التهابی و حفظ هومئوستاز باشد

(۳۰). همچنین، استفاده از دوز ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ممکن است نزدیک به آستانه‌ای باشد که در آن اثرات ملایم سرکوب‌کنندگی ایمنی ملایم مشاهده می‌شود. بنابراین، این دوز احتمالا یکی از دلایل کاهش سطح تیتر آنتی‌بادی در مطالعه حاضر باشد. از سوی دیگر، گزارش شده است که سدیم بوتیرات احتمالا عملکرد سلول‌های B و T را تعدیل کرده و بیان سیتوکین‌هایی مانند اینترلوکین ۶، اینترلوکین ۱۰، اینترفرون گاما (IFN-γ) و اینترلوکین ۱ را کاهش می‌دهد (۳۱) که این خود ممکن است یکی از سازوکارهای تقویت‌کننده سیستم ایمنی توسط بوتیرات در دوزهای کمتر از ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد. همچنین گزارش شده است که افزودن مخلوط اسیدهای آلی به جیره، همزمان با کاهش معنی‌دار pH چینه‌دان و سنگدان و کاهش جمعیت باکتری‌های کلی‌فرم، سبب افزایش عیار آنتی‌بادی علیه بیماری‌های نیوکاسل و بورس عفونی شد (۳۲). بنابراین و بر اساس یافته‌های این محققان، مکانیسم احتمالی اثر اسیدهای آلی بر ایمنی طیور، از یک سو با کاهش pH محیط را برای پاتوژن‌ها نامساعد کرده و جمعیت آن‌ها را مهار می‌کنند و از سوی دیگر با کاهش فشار آنتی‌ژنیک، از پاسخ‌های التهابی مخرب کاسته و با تقویت تولید آنتی‌بادی، ایمنی اختصاصی را بهبود می‌بخشند.

نکته قابل توجه در این مطالعه، اثر متقابل سه‌گانه (نوع غله × سدیم بوتیرات × آنزیم) بر انرژی قابل سوخت‌وساز و وزن طحال بود. بهبود معنی‌دار انرژی قابل سوخت‌وساز در تیمار ترکیبی (ذرت + سدیم بوتیرات + آنزیم) نشان‌دهنده هم‌افزایی بالقوه این افزودنی‌هاست. مکانیسم توجیه‌کننده این هم‌افزایی را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد که آنزیم با تجزیه پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای محلول، بسترهای قابل تخمیر (الیگوساکاریدها) را برای جمعیت میکروبی انتهای روده فراهم می‌کند (۹). این الیگوساکاریدها رشد باکتری‌های مفید مانند لاکتوباسیلوس‌ها را تحریک کرده و تولید بوتیرات درون‌زاد را افزایش می‌دهند (۱۹). بوتیرات برون‌زاد و درون‌زاد به‌طور هم‌افزا بر یکپارچگی مخاط، افزایش سطح جذب و تنظیم ایمنی مخاطی تأثیر می‌گذارند (۱۳).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که هر دو افزودنی سدیم بوتیرات (۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و آنزیم‌های تجزیه‌کننده پلی‌ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای (۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به جیره، به‌طور مستقل و در برخی موارد با اثرات هم‌افزا، سبب بهبود ضریب تبدیل غذایی و قابلیت هضم مواد مغذی در جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره‌های بر پایه ذرت یا گندم می‌شود. با این حال، کاهش تیتر آنتی‌بادی نیوکاسل در پاسخ به سدیم بوتیرات، نیازمند بررسی‌های دقیق‌تر از حیث مکانیزم تاثیرگذاری است. به‌طور کلی، مکمل‌سازی همزمان آنزیم‌های تجزیه‌کننده پلی‌ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای و سدیم بوتیرات، به‌ویژه در جیره‌های بر پایه گندم که دارای مقادیر بالایی از با پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای محلول هستند، می‌تواند به‌عنوان راهکاری تغذیه‌ای برای بهبود کارایی خوراک و سلامت روده در صنعت پرورش جوجه‌های گوشتی به کار گرفته شود.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در این پژوهش هیچگونه تعارض منافعی وجود ندارد.

منابع مورد استفاده

1. Bedford MR, Svihus B, Cowieson AJ. Dietary fibre effects and the interplay with exogenous carbohydrases in poultry nutrition. Anim Nutr. 2024. doi:10.1016/j.aninu.2023.09.007.

2. Jha R, Mishra P. Dietary fiber in poultry nutrition and their effects on nutrient utilization, performance, gut health, and on the environment: a review. J Anim Sci Biotechnol. 2021;12(1):51. doi:10.1186/s40104-021-00576-0

3. Kim DY, Kim KH, Lee EC, Oh JK, Park MA, Kil DY. Effect of dietary supplementation of xylanase alone or combination of xylanase and β-glucanase on growth performance, meat quality, intestinal measurements, and nutrient utilization in broiler

doi:10.1016/j.psj.2022.101846
9. Bedford MR, Cowieson AJ. Exogenous enzymes and their effects on intestinal microbiology. Anim Feed Sci Technol. 2012;173(1-2):76-85. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.12.018
10. Bedford MR. The use of NSP enzymes in poultry nutrition: Myths and realities. Worlds Poult Sci J. 2018;74(2):277-286. doi:10.1017/S0043933918000272
11. Sadati MM, Rezaeipour V, Abdullahpour R. Efficacy of whole wheat grain in combination with acidified drinking water on growth performance, gizzard development, intestinal morphology, and microbial population of broiler chickens. Livest Sci. 2022;259:104911. doi:10.1016/j.livsci.2022.104911
12. Ricke SC. Perspectives on the use of organic acids and short chain fatty acids as antimicrobials. Poult Sci. 2003;82(4):632-9. doi:10.1093/ps/82.4.632
13. Nhara RB, Marume U. Effect of Kalahari melon essential oil (Citrullus lanatus), butyric acid, and their blend in grower pig diets on blood hematology, nutritional status, liver enzyme activity, and oxidative stress. Trop Anim Health Prod. 2025;57(7):320. doi:10.1007/s11250-025-04358-0
14. Liao XD, Ma G, Cai J, Fu Y, Yan XY, Wei XB, et al. Effects of *Clostridium butyricum* on growth performance, antioxidation, and immune function of broilers. Poult Sci. 2015;94(4):662-7. doi:10.3382/ps/pev038
15. Ahmadipour B, Pat S, Khajali F, Hassanpour H. Effects of sodium butyrate forms on carcass performance, pulmonary hypertenchickens. Anim Biosci. 2024;38(2):325. doi:10.5713/ab.24.0529
4. Dunaway A, Adedokun SA. Metabolizable energy values of corn and wheat middlings in broiler chickens. Canadian Journal of Animal Science. 2019; 99(4):905-13. doi: 10.1139/CJAS-2019-0023.
5. Cowieson AJ, Schliffka W, Knap I, Roos FF, Schoop R, Wilson JW. Meta-analysis of effect of a mono-component xylanase on the nutritional value of wheat supplemented with exogenous phytase for broiler chickens. Anim Prod Sci. 2015. doi:10.1071/AN15199.
6. Roofchaei A, Rezaeipour V, Vatandour S, Zaefarian F. Influence of dietary carbohydrases, individually or in combination with phytase or an acidifier, on performance, gut morphology and microbial population in broiler chickens fed a wheat-based diet. Anim Nutr. 2019;5(1):63-7. doi:10.1016/j.aninu.2018.08.001
7. Munyaka PM, Nandha NK, Kiarie E, Nyachoti CM, Khafipour E. Impact of combined β-glucanase and xylanase enzymes on growth performance, nutrients utilization and gut microbiota in broiler chickens fed corn or wheat-based diets. Poult Sci. 2016;95(3):528-40. doi:10.3382/ps/pev333
8. Morgan NK, Bhuiyan MM, Hopcroft RL. Non-starch polysaccharide degradation in the gastrointestinal tract of broiler chickens fed commercial-type diets supplemented with either a single dose of xylanase, a double dose of xylanase, or a cocktail of non-starch polysaccharide-degrading enzymes. Poult Sci. 2022;101(6):101846.

sion, metabolic health and oxidative-inflammatory responses in broiler chickens under cold stress at high altitude. Vet Med Sci. 2026;12(1):e70720. doi:10.1002/vms3.70720

16. Fenton TW, Fenton M. An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and feces. Can J Anim Sci. 1979;59(3):631-4. doi:10.4141/cjas79-081

17. Amad AA, Männer K, Wendler KR, Neumann K, Zentek J. Effects of a phytogenic feed additive on growth performance and ileal nutrient digestibility in broiler chickens. Poultry science. 2011; 90(12):2811-6. doi: 10.3382/ps.2011-01515

18. SAS. 2001. SAS Institute Inc. SAS/STAT User's Guide: Version 8.2. Cary (NC): SAS Institute Inc. (No DOI)

19. Masey-O'Neill HV, Singh M, Cowieson AJ. Effects of exogenous xylanase on performance, nutrient digestibility, volatile fatty acid production and digestive tract thermal profiles of broilers fed on wheat-or maize-based diet. Br Poult Sci. 2014; 55(3):351-9. doi: 10.1080/00071668.2014.898836.

20. Amerah AM. Interactions between wheat characteristics and feed enzyme supplementation in broiler diets. Anim Feed Sci Technol. 2015;199:1-9. doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.09.012.

21. Thomas DV, Ravindran V, Ravindran G. Nutrient digestibility and energy utilisation of diets based on wheat, sorghum or maize by the newly hatched broiler chick. Br Poult Sci. 2008;49(4):429-35. doi:10.1080/00071660802213859

22. Rezaeipour V, Hasanpour M, Janitabar M, Abdullahpour R. Effects of two native Iranian wheat cultivars, processing method, and enzyme supplementation on performance, carcass, intestinal morphology, and microbiota activity in broiler chickens. J Appl Anim Res. 2017;45(1):517-23. doi:10.1080/09712119.2016.1224767

23. Hetland H, Choct M, Svihus B. Role of insoluble non-starch polysaccharides in poultry nutrition. World's Poult Sci J. 2004;60(4):415-22. doi: 10.1079/WPS200325.

24. Sacranie A, Svihus B, Denstadli V, Moen B, Iji PA, Choct M. The effect of insoluble fiber and intermittent feeding on gizzard development, gut motility, and performance of broiler chickens. Poult Sci. 2012;91(3):693-700. doi:10.3382/ps.2011-01790

25. Olukosi OA, Cowieson AJ, Adeola O. Energy utilization and growth performance of broilers receiving diets supplemented with enzymes containing carbohydrase or phytase activity individually or in combination. Br J Nutr. 2008 99(3):682-90. doi: 10.1017/S0007114507815807

26. Almeida AB, Araujo DN, Strapazzon JV, Rita C, Dilda A, Balen G, et al. Use of blend based on an emulsifier, monolaurin, and glycerides of butyric acid in the diet of broilers: Impacts on intestinal health, performance, and meat. An Acad Bras Cienc. 2021;93(suppl 4):e20210687. doi:10.1590/0001-3765202120210687

27. Wu W, Xiao Z, An W, Dong Y, Zhang B.

Dietary sodium butyrate improves intestinal development and function by modulating the microbial community in broilers. PLoS One. 2018;13(5):e0197762. doi:10.1371/journal.pone.0197762

28. Alqhtani AH, Al Sulaiman AR, Alharthi AS, Abudabos AM. Effect of exogenous enzymes cocktail on performance, carcass traits, biochemical metabolites, intestinal morphology, and nutrient digestibility of broilers fed normal and low-energy corn–soybean diets. Animals. 2022 Apr 23;12(9):1094. doi: 10.3390/ani12091094

29. Levy M, Thaiss CA, Elinav E. Metabolites: messengers between the microbiota and the immune system. Genes Dev. 2016;30(14):1589-97. doi:10.1101/gad.284091.116

30. Corrêa-Oliveira R, Fachi JL, Vieira A, Sato FT, Vinolo MA. Regulation of immune cell function by short-chain fatty acids. Clin Transl Immunology. 2016;5(4):e73. doi:10.1038/cti.2016.17

31. Lan RX, Li SQ, Zhao Z, An LL. Sodium butyrate as an effective feed additive to improve growth performance and gastrointestinal development in broilers. Veterinary medicine and science. 2020; 6(3):491-9. doi:10.1002/vms3.250.

32. Perry F, Lahaye L, Santin E, Johnson C, Korver DR, Kogut MH, et al. Protected biofactors and antioxidants reduce the negative consequences of virus and cold challenge while enhancing performance by modulating immunometabolism through cytoskeletal and immune signaling in the jejunum. Poultry science. 2022; 101(12):102172. doi: 10.1016/j.psj.2022.102172.