Vol 28, No. 1, Spring 2026

University of Tehran Press

Journal of Animal Production

Online ISSN: 2382-994X

Homepage: https://jap.ut.ac.ir/

Comparison of different fermentation methods of wheat bran and rice bran on performance, intestinal morphology, and cecal microbial population of Ross broiler chickens

Fatemeh Imaninejhad[1] | **Somayyeh Salari** [1]✉ | **Hossein Motamedi**[3]

1. Department of Animal Science, Animal Science and Food Technology Faculty, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: Phd.imani@asnrukh.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Animal Science, Animal Science and Food Technology Faculty, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: S.Salari@asnrukh.ac.ir
3. Department of Biology, Faculty of Science, and Biorefinery Research Center, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: motamedih@scu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 31 July 2025
Received in revised form
23 December 2025
Accepted 24 December 2025
Published online 9 March 2026

Keywords:
Broiler chickens
Intestinal morphology
Microbial population
Performance

ABSTRACT

Objective: The objective of this study was to evaluate the influence of the fermentation processing of rice bran and wheat bran (using bacterial, fungal, rumen liquor fermentation) on performance, intestinal morphology, and cecal microbial population of Ross 308 broiler chickens. Bran (rice and wheat), is a by-product of cereal processing that can be used as an alternative feed source in poultry nutrition because it is a rich source of nutrients and crude fiber. However, bran contains anti-nutritional compounds such as fiber and phytic acid, which reduce digestibility and absorption of nutrients. Therefore, fermentation processing may allow for the maximum utilization of bran by breaking down these anti-nutritional compounds and increasing their absorbability.

Method: In a completely randomized design with a factorial arrangement (2×4), 400 one-day-old commercial Ross 308 broiler chicks (mixed sex) were studied for 42 days to evaluate the effects of different processing methods (no processing, fermentation with *Bacillus subtilis*, fermentation with *Aspergillus niger*, fermentation with rumen liquor) and type of bran (wheat and rice at a 10% dietary inclusion level) on overall performance (feed intake, weight gain, feed conversion ratio (FCR)), intestinal morphology, cecal microbial population, and the pH of different parts of the gastrointestinal tract (gizzard, duodenum, jejunum, and ileum).

Results: The interaction between bran type and processing method was not significant in total period feed intake and weight gain, but it was significant for FCR, in which wheat bran and rice bran fermented with fungus had the lowest FCR. For main effect of the processing method, the fermentation of bran with fungus increased feed intake compared to raw bran and bran fermented with rumen liquor. Wheat bran intake compared to rice bran improved weight gain and reduced FCR. Duodenal villus height significantly greater in the fungal fermentation method compared to raw bran and bacterial fermentation method, but there was significant difference with the rumen liquor fermentation method. The duodenal villus height to crypt depth ratio was the highest in the fungal bran fermentation method. The results indicated that wheat bran significantly increased villus height and epithelial thickness and a decreased jejunal crypt depth compared to rice bran, while the jejunal villus height to crypt depth ratio was significantly higher in both the fungal and rumen liquor fermentation methods than in the raw bran groups. The ileal villus height to crypt depth ratio was highest in the groups receiving rice bran fermented with fungus and rumen liquor, as well as wheat bran fermented with fungus and lowest in the group receiving raw rice bran. The interaction of experimental factors on cecal *lactobacillus* population was also significant. Birds fed wheat bran fermented with rumen liquor showed a higher cecal *lactobacillus* population compared to other treatments, except for rice bran fermented with fungus. Birds fed fermented bran had lower cecal *Escherichia coli* and coliforms compared to birds fed raw bran.

Conclusion: The results indicate that the fermentation processing of wheat bran and rice bran, particularly by the fungus *Aspergillus niger*, may be an effective strategy in broiler chicken nutrition because of improved performance, increased villus height and reduced intestinal crypt depth, increased *Lactobacillus* bacteria counts, decreased pathogenic bacteria counts, and lower intestinal pH in broiler chickens.

Cite this article: Imaninejhad, F., Salari, S., & Motamedi, H. (2026). Comparison of different fermentation methods of wheat bran and rice bran on performance, intestinal morphology, and cecal microbial population of Ross broiler chickens. *Journal of Animal Production*, 28 (1), 71-89. DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2025.399776.623862

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2025.399776.623862

دوره بیست و هشتم، شماره اول، بهار ۱۴۰۵

انتشارات دانشگاه تهران

تولیدات دامی

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۲-۹۹۴x

Homepage: https://jap.ut.ac.ir/

مقایسه روش‌های مختلف تخمیر سبوس برنج و سبوس گندم بر عملکرد، ریخت‌شناسی روده و جمعیت میکروبی روده کور جوجه‌های گوشتی سویه راس

فاطمه ایمانی‌نژاد[۱] | سمیه سالاری[۲]✉ | حسین معتمدی[۳]

۱. گروه علوم دامی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران. رایانامه: Phd.imani@asnrukh.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دامی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران. رایانامه: S.Salari@asnrukh.ac.ir

۳. گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم و مرکز تحقیقات پالایشگاه زیستی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: motamedih@scu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۱۸

کلیدواژه‌ها:
جمعیت میکروبی
جوجه گوشتی
عملکرد
ریخت‌شناسی روده

چکیده

هدف: این پژوهش با هدف بررسی اثرات فرآوری سبوس برنج و سبوس گندم با استفاده از روش‌های مختلف تخمیری (باکتری، قارچ، مایع شکمبه گاو) بر عملکرد، ریخت‌شناسی روده و جمعیت میکروبی روده کور جوجه‌های گوشتی سویه راس ۳۰۸ انجام شد. سبوس‌های (برنج و گندم)، به‌عنوان یک محصول فرعی غلات غنی از مواد مغذی و الیاف خام، می‌تواند به‌عنوان یک منبع غذایی جایگزین در تغذیه طیور به مقدار محدود مورداستفاده قرار گیرد. با این‌حال، وجود ترکیبات ضد تغذیه‌ای در سبوس از قبیل فیبر، اسید فیتیک، قابلیت هضم و جذب مواد مغذی را محدود می‌کنند. به‌نظر می‌رسد، فرآوری تخمیری می‌تواند با تجزیه و افزایش قابلیت جذب این ترکیبات امکان استفاده بهینه از سبوس‌ها را فراهم کند.

روش پژوهش: در این آزمایش، تعداد ۴۰۰ قطعه جوجه گوشتی یک‌روزه، سویه تجاری راس ۳۰۸ (مخلوط دو جنس) در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل (۴×۲) به‌مدت ۴۲ روز موردبررسی قرار گرفتند. فاکتورهای آزمایشی شامل روش‌های مختلف فرآوری (بدون فرآوری، تخمیر با *باکتری باسیلوس ساتیلیس*، *تخمیر* با قارچ *آسپرژیلوس نایجر* و تخمیر با مایع شکمبه) و نوع سبوس (گندم و برنج در سطح ۱۰ درصد جیره) بودند و اثرات آن‌ها بر عملکرد کل دوره (مصرف خوراک، افزایش وزن، ضریب تبدیل خوراک)، ریخت‌شناسی روده و جمعیت میکروبی روده کور و pH قسمت‌های مختلف دستگاه گوارش (سنگدان، دوازدهه، ژژنوم و ایلئوم) مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: اثر متقابل نوع سبوس و روش فرآوری بر مصرف خوراک و افزایش وزن کل دوره معنی‌دار نبود، اما بر ضریب تبدیل خوراک اثر معنی‌داری داشت. به‌طور مشخص، گروهایی که سبوس گندم و برنج تخمیرشده با قارچ را دریافت کرده بودند کم‌ترین ضریب تبدیل خوراک را داشتند. در بررسی اثر اصلی روش فرآوری، تخمیر سبوس با قارچ نسبت به سبوس خام و سبوس تخمیرشده با مایع شکمبه موجب افزایش مصرف خوراک شد. مصرف سبوس گندم در مقایسه با سبوس برنج، منجر به بهبود معنی‌دار افزایش وزن و کاهش ضریب تبدیل خوراک گردید. ارتفاع پرز دوازدهه در روش تخمیر با قارچ نسبت به سبوس خام و روش تخمیر با باکتری به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت، اما با روش تخمیر با مایع شکمبه اختلاف معنی‌داری نداشت. بیش‌ترین نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت دوازدهه در روش تخمیر سبوس با قارچ مشاهده شد. نتایج نشان داد که سبوس گندم، در مقایسه با سبوس برنج، موجب افزایش ارتفاع پرز و ضخامت اپیتلیوم و کاهش عمق کریپت ژژنوم شد. نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت ژژنوم در دو روش فرآوری با قارچ و مایع شکمبه افزایش معنی‌داری را نشان دادند. نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت در ایلئوم در گروه دریافت‌کننده سبوس برنج تخمیرشده با قارچ و مایع شکمبه و هم‌چنین سبوس گندم تخمیرشده با قارچ بیش‌ترین مقدار را نشان داد. کم‌ترین نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت ایلئوم در گروه دریافت‌کننده سبوس برنج خام مشاهده گردید. اثر متقابل فاکتورهای آزمایشی بر جمعیت *لاکتوباسیل‌ها* روده کور معنی‌دار بود. پرندگان تغذیه‌شده با سبوس گندم تخمیرشده با مایع شکمبه، جمعیت *لاکتوباسیلوس* روده کور بیش‌تری در مقایسه با سایر تیمارها به‌جز سبوس برنج تخمیرشده با قارچ نشان دادند. پرندگان تغذیه‌شده با سبوس تخمیرشده *اشرشیاکلای* و *کلی‌فرم* روده کور کم‌تری نسبت به پرندگان تغذیه‌شده با سبوس خام داشتند.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد که فرآوری تخمیری سبوس گندم و سبوس برنج، به‌ویژه با استفاده از قارچ *آسپرژیلوس نایجر*، به‌دلیل بهبود عملکرد، افزایش ارتفاع پرزها و کاهش عمق کریپت روده، افزایش جمعیت باکتری‌های مفید *لاکتوباسیل*، کاهش جمعیت باکتری‌های مضر و کاهش pH روده جوجه‌های گوشتی، می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی مؤثر در تغذیه جوجه‌های گوشتی مورداستفاده قرار گیرد.

استناد: ایمانی‌نژاد، فاطمه؛ سالاری، سمیه و معتمدی، حسین (۱۴۰۵). مقایسه روش‌های مختلف تخمیر سبوس برنج و سبوس گندم بر عملکرد، ریخت‌شناسی روده و جمعیت میکروبی روده کور جوجه‌های گوشتی سویه راس. *نشریه تولیدات دامی*، ۲۸ (۱)، ۷۱-۸۹.
DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2025.399776.623862

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

کمبود خوراک طیور موجب استفاده از محصولات جایگزین یا محصولات جانبی کشاورزی شده است (Oguri *et al*., 2013). اگرچه محصولات جانبی کشاورزی در مقایسه با غلات اصلی، ارزان قیمت هستند، اما فیبر بالای آن‌ها، استفاده از آن‌ها را به‌عنوان خوراک برای حیوانات تک‌معده‌ای محدود می‌کند. سبوس گندم محصول جانبی اصلی فرآوری آرد گندم است. Souci & Kirchhoff (2008) گزارش دادند که سبوس گندم حاوی مقادیر بالایی فیبر (۴۵۱ گرم بر کیلوگرم) و ترکیبات دیگری از جمله پروتئین (۱۶۰ گرم بر کیلوگرم)، چربی (۴۷ گرم بر کیلوگرم)، کربوهیدرات (۱۷۷ گرم بر کیلوگرم) است. با این‌حال، به‌خوبی مشخص است که افزایش محتوای فیبر (احتمالاً پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای) همبستگی منفی با مصرف خوراک و هم‌چنین قابلیت هضم در حیوانات دارد و در نهایت بر رشد و عملکرد تولیدی تأثیر می‌گذارد. بنابراین، استفاده از سبوس گندم در خوراک دام محدود شده است (Slominski *et al*., 2004).

سبوس برنج نیز یک محصول جانبی اصلی است که در طول فرآوری برنج تولید می‌شود و تقریباً پنج تا ۱۲ درصد از وزن برنج قهوه‌ای را تشکیل می‌دهد (Ti *et al*., 2015). از لحاظ کمی این ماده حاوی بیش از ۶۴ درصد از مواد مغذی موجود در برنج قهوه‌ای است و سرشار از پروتئین‌ها، چربی‌ها، ویتامین‌ها و اجزای زیست‌فعال مانند فیبر غذایی، اوریزانول، فلاونوئیدها و فنل‌ها با پتانسیل بیولوژیکی بالا و آلرژی‌زایی کم است (Wang *et al*., 2023). با این‌حال حاوی عوامل ضد تغذیه‌ای مانند اسید فیتیک و مهارکننده تریپسین است (Wu *et al*., 2020) که کاربرد آن را در خوراک دام محدود می‌کند (Kim *et al*., 2018).

این عوامل ضد تغذیه‌ای را می‌توان از طریق تخمیر با استفاده از برخی میکروارگانیسم‌ها مانند قارچ‌ها (Belewu, 2006) حذف کرد. تخمیر مواد با تلقیح میکروبی به‌طور گسترده مورداستفاده قرار گرفته است، زیرا این فرایند ممکن است کیفیت عملکردی آن‌ها را ارتقا دهد (Kim *et al*., 2012). تخمیر خوراک‌های غیرمتعارف می‌تواند عوامل ضدتغذیه‌ای را کاهش داده و قابلیت هضم خوراک را بهبود بخشد. از یک‌طرف، میکروارگانیسم‌ها در طول فرایند تخمیر مجموعه‌ای از آنزیم‌ها را تولید می‌کنند که می‌توانند مواد ماکرومولکولی را به مواد با وزن مولکولی کم تجزیه کرده و جذب و استفاده از مواد مغذی توسط حیوانات را افزایش دهند (Li *et al*., 2020). علاوه بر این، خوراک‌های تخمیرشده می‌توانند فلور غالب روده را تثبیت، رشد باکتری‌های مضر را مهار، تعادل میکرواکولوژی روده را حفظ و سلامت روده و عملکرد تولید را بهبود بخشند (Guo *et al*., 2021). با تخمیر حالت جامد، *آسپرژیلوس نایجر* می‌تواند آنزیم‌های متعددی مانند آمیلاز، پروتئاز، تاناز، سلولاز و لیپاز ایجاد کند. این آنزیم‌ها رشد طیور و کیفیت گوشت را بهبود می‌بخشند.

قارچ‌های رشته‌ای از جمله *آسپرژیلوس نایجر*، معمولاً برای تخمیر حالت جامد به‌منظور افزایش ارزش غذایی سوبسترا استفاده می‌شوند. این قارچ‌ها احتمالاً نه‌تنها قادر به رشد روی سطح ذرات سوبسترا هستند، بلکه فرض می‌شود که به آن‌ها نفوذ می‌کنند (Sundu *et al*., 2021). خوراک تخمیرشده اولیه باعث کاهش باکتری‌های بیماری‌زا، از جمله سالمونلا و کامپیلوباکتر در دستگاه گوارش، به‌ویژه در چینه‌دان و سنگدان می‌شود (Donkor *et al*., 2006). از طرفی تخمیر سبوس برنج نیز با استفاده از مایع شکمبه یکی از بهترین تکنیک‌ها می‌باشد، زیرا آنزیم‌های مختلفی مانند α-آمیلاز، α–استولاکتات، دکربوکسیلاز، β–اندوگلوکاناز، همی‌سلولاز، فیتاز، مالتوژنیک آمیلاز و زایلاناز تولید می‌کند که فیبر را تجزیه می‌کنند (Wizna *et al*., 2009). در پژوهشی اثرات تخمیر بر ریخت‌شناسی روده مرغ گوشتی هنگامی‌که ۱۰ درصد از جیره پایه با سبوس گندم تخمیرشده با قارچ تریکودرما جایگزین شد، مورد ارزیابی قرار گرفت. افزایش معنی‌داری در نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت در ایلئوم مشاهده شد، اگرچه تفاوت معنی‌داری در ژژنوم مشاهده نشد (Chu *et al*., 2017).

خوراک تخمیرشده هم‌چنین تأثیر مطلوبی بر فلور روده و سلامت میزبان دارد (Guo *et al*., 2021). خوراک تخمیری میزان باکتری‌های اسید لاکتیک و غلظت اسیدهای چرب کوتاه زنجیر را در مدفوع افزایش می‌دهد، فعالیت‌های گوارشی

و متابولیکی روده را بهبود می‌بخشد، اثرات آنتی‌اکسیدانی و ضد التهابی را تقویت می‌کند و عملکرد تولید را افزایش می‌دهد (Huang *et al*., 2020). بنابراین، هدف از این مطالعه مقایسه روش‌های مختلف فرآوری تخمیری سبوس گندم و سبوس برنج بر عملکرد، ریخت‌شناسی قسمت‌های مختلف روده، بررسی جمعیت میکروبی روده کور و pH قسمت‌های مختلف دستگاه گوارش در جوجه‌های گوشتی است.

۲. روش پژوهش

۲. ۱. تخمیر سبوس برنج و سبوس گندم با استفاده از باکتری و قارچ

در این پژوهش، برای انجام تخمیر سبوس برنج و سبوس گندم، از باکتری *باسیلوس سابتیلیس* (ATCC 6633) و قارچ *آسپرژیلوس نایجر* (PTCC5010) استفاده شد که به شکل لیوفیلیزه از مرکز کلکسیون قارچ‌ها و باکتری‌های سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران تهیه شده بودند. به‌منظور فعال‌سازی، باکتری در محیط نوترینت براث در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و قارچ در محیط PDA در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد کشت داده شدند. پس از فعال‌سازی، به هر کیلوگرم سبوس، یک لیتر آب مقطر اضافه گردید و سپس کشت آغازگر (حاوی حداقل 10^5 واحد تشکیل‌دهنده کلنی در میلی‌لیتر) روی سبوس‌ها اسپری شد. این مخلوط در کیسه‌های پلاستیکی حاوی اکسیژن به‌مدت شش روز در دمای اتاق نگهداری شد تا فرایند تخمیر انجام شود. در نهایت، سبوس برنج و سبوس گندم تخمیرشده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند (Soltani *et al*., 2018).

۲. ۲. تخمیر سبوس برنج و گندم با استفاده از مایع شکمبه

مایع شکمبه گاو از کشتارگاه تهیه و بلافاصله با استفاده از پارچه صاف گردید تا مواد جامد از آن جدا شوند. مایع به‌دست‌آمده، به‌عنوان مایه تلقیح در فرایند تخمیر مورداستفاده قرار گرفت. برای حفظ میکروارگانیسم‌های موجود در مایع شکمبه، ۱۰ گرم در لیتر پودر ذرت به آن افزوده شد. انتقال این مایع در کوتاه‌ترین زمان ممکن، در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از فلاسک عایق انجام پذیرفت. به‌منظور ایجاد شرایط بی‌هوازی، در ظروف تخمیر از گاز CO_2 استفاده گردید. تخمیر در یک محیط کنترل‌شده به‌مدت شش ساعت صورت گرفت. نسبت ترکیب سبوس، محلول بافر (Debi *et al*., 2019) و مایع شکمبه به‌ترتیب ۱:۲:۳ حفظ شد. پس از گذشت سه ساعت از آغاز فرایند تخمیر، به میزان یک درصد وزن کل محلول، $NaHCO_3$ نیز به آن اضافه گردید. این اقدام به‌منظور جلوگیری از کاهش pH به زیر شش انجام شد، چرا که پس از سه ساعت pH شروع به افت می‌کرد. در پایان فرایند تخمیر، سبوس‌ها در معرض نور خورشید خشک شدند (Debi *et al*., 2022). در نهایت مقدار ماده خشک، خاکستر، پروتئین خام و عصاره اتری نمونه‌های تخمیرشده به‌روش توصیه‌شده (AOAC, 1990) از نظر اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

جدول ۱. تأثیر روش‌های مختلف فراوری بر ترکیبات شیمیایی سبوس برنج و گندم (درصد)

نوع سبوس	نوع فرآوری	ماده خشک	خاکستر	پروتئین خام	عصاره اتری
گندم	خام	۹۳/۸۸	۶/۵۳	۱۷/۵۸	۵/۴
	باکتری	۹۵/۹۳	۶/۶۵	۱۸/۰۵	۶/۵۴
	قارچ	۹۵/۱۶	۶/۱۳	۱۹/۴۴	۵/۶۴
	مایع شکمبه	۹۴/۸۷	۶/۶۵	۱۸/۳۹	۶/۶۲
برنج	خام	۹۳/۶۶	۱۱/۶۷	۱۱/۱۱	۱۰/۲۴
	باکتری	۹۵/۰۱	۱۳/۶۲	۱۱/۶۲	۷/۱۱
	قارچ	۹۶/۶۸	۱۳/۳۰	۱۱/۷۶	۸/۱۵
	مایع شکمبه	۹۵/۹۰	۱۶/۳۲	۱۱/۴۶	۸/۴۹

این آزمایش به‌مدت ۴۲ روز با استفاده از ۴۰۰ قطعه جوجه گوشتی یک‌روزه سویه راس ۳۰۸ در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل ۴×۲ شامل روش‌های مختلف فرآوری (بدون فرآوری، تخمیر با باکتری *باسیلوس سابتیلیس*، تخمیر با قارچ *آسپرژیلوس نایجر* و تخمیر با مایع شکمبه) و نوع سبوس (گندم و برنج در سطح ۱۰ درصد جیره) با هشت تیمار، پنج تکرار و ۱۰ قطعه پرنده در هر تکرار بر روی بستر انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۱- جیره پایه حاوی ۱۰ درصد سبوس برنج تخمیرنشده، ۲- جیره پایه حاوی ۱۰ درصد سبوس برنج تخمیرشده با باکتری *باسیلوس سابتیلیس*، ۳- جیره پایه حاوی ۱۰ درصد سبوس برنج تخمیرشده با قارچ *آسپرژیلوس نایجر*، ۴- جیره پایه حاوی ۱۰ درصد سبوس برنج تخمیرشده با مایع شکمبه، ۵- جیره پایه حاوی ۱۰ درصد سبوس گندم تخمیرنشده، ۶- جیره پایه حاوی ۱۰ درصد سبوس گندم تخمیرشده با باکتری *باسیلوس سابتیلیس*، ۷- جیره پایه حاوی ۱۰ درصد سبوس گندم تخمیرشده با قارچ *آسپرژیلوس نایجر*، ۸- جیره پایه حاوی ۱۰ درصد سبوس گندم تخمیرشده با مایع شکمبه بودند.

جیره پایه مطابق نیازهای ذکرشده در کاتالوگ سویه راس ۳۰۸ تنظیم شد (راس، ۲۰۱۹). آب و خوراک به‌صورت آزاد در اختیار جوجه‌ها قرار گرفت. اجزای تشکیل‌دهنده و ترکیب مواد مغذی جیره‌های مورداستفاده در تغذیه جوجه‌های گوشتی سویه راس ۳۰۸ در جدول (۲) نشان داده شده است. فراسنجه‌های عملکردی شامل مصرف خوراک و افزایش وزن پرندگان در پایان هر دوره (آغازین، رشد و پایانی) رکوردبرداری و ضریب تبدیل غذایی محاسبه و در نهایت به‌صورت کل دوره گزارش گردید.

برای بررسی تغییرات ریخت‌شناسی روده کوچک، حدود پنج سانتی‌متر از قسمت میانی دوازدهه، ژژنوم و ایلئوم پرندگان کشتارشده، جدا شده و نمونه بافتی حداکثر با ضخامت نیم سانتی‌متر تهیه شد. نمونه‌های تهیه‌شده به محلول فرمالین ۱۰ درصد منتقل شدند و پس از ثبات به‌روش تهیه مقاطع بافتی پارافینی و با استفاده از دستگاه آماده‌سازی بافت (مدل: MK2250، شرکت پویان طب خادم، سال ۱۳۹۸) نمونه‌ها فرآوری و قالب تهیه شد. در ادامه با استفاده از دستگاه میکروتوم دوار (مدل: lietz1512، شرکت لایتز،کشور آلمان، سال ۲۰۰۲) برش‌هایی به ضخامت پنج تا شش میکرومتر تهیه و بر روی لام قرار داده شد. برش‌ها با رنگ پاس آلسین بلو رنگ‌آمیزی شد. در این مطالعه بررسی تغییرات بافت‌شناسی شامل ارتفاع پرز، ضخامت پرز، عمق کریپت، سلول‌های جامی شکل (گابلت) مطابق روش Xu و همکاران (۲۰۰۳) انجام شد. هم‌چنین نسبت ارتفاع پرزها به عمق کریپت‌ها نیز موردبررسی و ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور از میکروسکوپ المپیوس با دوربین DP74 Microscope Digital Camera و نرم‌افزار image j استفاده گردید.

برای بررسی جمعیت میکروبی روده کور طیور در سن ۴۲ روزگی، از هر تکرار دو قطعه پرنده به‌طور تصادفی انتخاب شدند. پس از کشتار، روده کور در محل اتصال به ایلئوم و کولون با نخ بسته و توسط قیچی استریل و پنس از روده جدا و در پتری‌دیش‌های استریل قرار گرفتند. سپس با ایجاد شکافی طولی بر روی روده کور با استفاده از اسکالپل، یک گرم از محتویات آن استخراج و به داخل لوله‌های آزمایش حاوی نُه میلی‌لیتر محلول نرمال سالین ریخته شد و دهانه لوله‌ها با پنبه استریل مسدود گردید. محتویات لوله‌ها توسط شیکر هموژنیزه شدند. جهت کشت لاکتوباسیل‌ها از محیط کشت اختصاصی MRS آگار (Liofilchem, Italy)، برای کشت باکتری‌های کلی‌فرم از محیط کشت مکانکی آگار (Condalab, Spain) و به‌منظور کشت باکتری *اشریشیاکلی* از محیط کشت ائوزین متیلن بلو آگار (Condalab, Spain) استفاده گردید. رقت‌های متوالی (از 10^{-1} تا 10^{-9}) از نمونه‌های اولیه تهیه شدند. تعداد کل باکتری‌های موجود در هر رقت از محتویات روده کور شمارش و میانگین آن‌ها به‌عنوان تعداد کل باکتری در واحد گرم محتویات گوارشی برای هر تکرار از تیمار مربوطه محاسبه گردید. پس از کشت، نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه شدند. تعداد واحدهای تشکیل‌دهنده کلنی‌های میکروبی (CFU) به‌ازای هر گرم از محتویات روده به‌صورت لگاریتمی ($\log_{10}$) بیان گردید.

در روز پایانی آزمایش، یک گرم از محتویات سنگدان، دوازدهه، ژژنوم و ایلئوم وزن شد و با نُه میلی‌لیتر آب مقطر در یک فالکون به‌مدت پنج دقیقه به‌خوبی ورتکس شد و pH محلول فوق با استفاده از الکترود pHمتر اندازه‌گیری گردید.

جدول ۲. درصد اجزا و ترکیبات جیره‌های آزمایشی در دوره‌های مختلف پرورش جوجه‌های گوشتی

	یک-۱۰ روزگی (آغازین)		۱۱-۲٤ روزگی (رشد)		۲۵-٤۲ روزگی (پایانی)	
	سبوس گندم[1]	سبوس برنج[2]	سبوس گندم	سبوس برنج	سبوس گندم	سبوس برنج
ذرت	۴۴/۳۴	۴۴/۵۴	۴۶	۴۷	۴۹/۰۴	۵۰/۰۴
کنجاله سویا (۴۴ درصد پروتئین خام)	۳۲/۹۷	۳۳/۷۴	۳۰	۳۰	۲۸/۸۵	۲۸/۸۵
سبوس گندم (۱۷/۵۸ درصد پروتئین خام)	۱۰	۰	۱۰	۰	۱۰	۰
سبوس برنج (۱۱/۱۱ درصد پروتئین خام)	۰	۱۰	۰	۱۰	۰	۱۰
گلوتن ذرت (۶۰ درصد)	۴/۷	۴/۳	۳/۷۲	۳/۶۱	۱	۱
روغن سویا	۳/۰۵	۲/۵	۵/۵	۴/۶	۷	۶
متیونین	۰/۳	۰/۲۹	۰/۳	۰/۳	۰/۲۹	۰/۲۹
لیزین	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۲۴	۰/۲۴
ترئونین	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۱۱
دی کلسیم فسفات	۲	۲	۱/۹	۱/۹	۱/۶۹	۱/۶۹
کربنات کلسیم	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷	۰/۷	۰/۶۳	۰/۶۳
نمک	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲۱	۰/۲۱
جوش شیرین	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴
مکمل ویتامین-مواد معدنی[3]	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
بنتونیت سدیم	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۲	۰/۲
ترکیب شیمیایی						
انرژی متابولیسمی (کیلوکالری بر کیلوگرم	۲۸۸۲	۲۸۹۰	۳۰۵۰	۳۰۴۸	۳۱۵۱	۳۱۴۵
پروتئین خام (درصد)	۲۲/۹۱	۲۲/۹۱	۲۱/۱۴	۲۱/۰۵	۱۹/۱۴	۱۹/۱۲
فیبر خام (درصد)	۳/۴۴	۳/۷۵	۳/۳۴	۳/۶۳	۳/۳۳	۳/۶۳
چربی خام (درصد)	۵/۸۶	۶/۴۲	۸/۲۲	۸/۴۷	۹/۶۴	۹/۸۰
کلسیم (درصد)	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۷۹	۰/۷۹
فسفر قابل دسترس (درصد)	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۳۹	۰/۳۹
لیزین قابل هضم (درصد)	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۱۳	۱/۱۳	۱/۰۳	۱/۰۳
متیونین+ سیستین قابل هضم (درصد)	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸	۰/۸
ترئونین قابل هضم (درصد)	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷	۰/۷
آرژنین قابل هضم (درصد)	۱/۲۹	۱/۳۰	۱/۲۰	۱/۱۹	۱/۱۳	۱/۱۲

۱. آنالیز سبوس گندم خام (درصد): ماده خشک، ۹۳/۸۸؛ خاکستر خام، ۶/۵۳؛ پروتئین خام، ۱۷/۵۸؛ چربی خام، ۵/۴

۲. آنالیز سبوس برنج خام (درصد): ماده خشک،۹۳/۶۶؛خاکستر خام، ۱۱/۶۷؛ پروتئین خام، ۱۱/۱۱؛ چربی خام، ۱۰/۲۴

۳. مکمل ویتامینی به‌ازای هر کیلوگرم جیره مقادیر زیر را تأمین می‌کند: ویتامین A، ۱۰۰۰۰ واحد بین‌المللی؛ ویتامین D_3 ۳۰۰۰ واحد بین‌المللی؛ ویتامین E، ۵۵ واحد بین‌المللی؛ ویتامین K_3، دو میلی‌گرم؛ ویتامین B_1، ۲/۲ میلی‌گرم؛ ویتامین B_2، ۴/۸ میلی‌گرم؛ نیاسین، ۴۵ میلی‌گرم؛ اسید پانتوتنیک، ۱۵ میلی‌گرم؛ ویتامین B_6، ۲/۲ میلی‌گرم؛ بیوتین، ۰/۱۵ میلی‌گرم؛ اسیدفولیک، ۱/۶۰ میلی‌گرم؛ ویتامین B_{12}، ۰/۰۱۱ میلی‌گرم.

مکمل معدنی به‌ازای هر کیلوگرم جیره مقادیر زیر را تأمین می‌کند: آهن، ۶۰ میلی‌گرم؛ منگنز، ۱۲۰ میلی‌گرم؛ روی، ۱۰۰ میلی‌گرم؛ مس، ۱۶ میلی‌گرم؛ ید ۱/۲۵ میلی‌گرم؛ سلنیوم، ۰/۳۰ میلی‌گرم.

۲. ۳. روش آماری

داده‌های حاصل با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) برای مدل (۱) تجزیه و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری پنج درصد مقایسه شدند.

رابطه ۱) $$Y_{ijk}= \mu+ A_i+ B_j+ AB_{ij} + e_{ijk}$$

که در آن، Y_{ijk}، نشان‌دهنده مقدار عددی هر مشاهده؛ μ، میانگین مشاهدات؛ A_i، نشان‌دهنده اثرات نوع سبوس؛ B_j، نشان‌دهنده اثر روش فرآوری؛ AB_{ij}، اثر متقابل نوع سبوس و روش فرآوری و e_{ijk}، اثر خطای آزمایشی است.

۳. یافته‌های پژوهش

تأثیر روش‌های مختلف فرآوری سبوس برنج و گندم بر عملکرد جوجه‌های گوشتی در کل دوره پرورش در جدول (۳) نشان داده شده است. اگرچه اثر متقابل نوع سبوس و نوع فرآوری بر شاخص‌های مصرف خوراک و افزایش وزن معنی‌دار نبود، اما بر ضریب تبدیل خوراک، اثر معنی‌داری داشت. به‌طوری‌که در ارتباط با سبوس برنج، هر سه روش فرآوری و در مورد سبوس گندم، فرآوری با قارچ *آسپرژیلوس نایجر* در مقایسه با نوع بدون فرآوری موجب بهبود ضریب تبدیل خوراک شد. هم‌چنین نتایج نشان داد که مصرف سبوس گندم در مقایسه با سبوس برنج، منجر به بهبود افزایش وزن گردید. در خصوص ضریب تبدیل خوراک، سبوس گندم در مقایسه با سبوس برنج عملکرد بهتری از خود نشان داد. نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های فرآوری بر شاخص‌های عملکردی، حاکی از برتری فرآوری با استفاده از قارچ بود. به‌طور مشخص، گروهی که جیره حاوی سبوس فرآوری‌شده با قارچ را دریافت نمودند، بالاترین میزان مصرف خوراک، اضافه وزن و بهترین ضریب تبدیل خوراک را در بین تمام روش‌های فراوری به خود اختصاص دادند. در مقابل، گروه دریافت‌کننده سبوس خام کم‌ترین اضافه وزن و بالاترین ضریب تبدیل خوراک را داشتند. همسو با نتایج این پژوهش، Belal (۲۰۱۷) گزارش دادند که تغذیه ۱۰ درصد سبوس گندم تخمیرشده با قارچ *تریکودرما لانگی‌براکیاتوم* افزایش معنی‌داری در میانگین وزن زنده هر پرنده در مقایسه با جیره غذایی بدون سبوس گندم (شاهد ۱) و جیره غذایی با ۱۰ درصد سبوس گندم تخمیرنشده (شاهد ۲) نشان داد.

جدول ۳. اثرات اصلی نوع فرآوری و نوع سبوس و اثر متقابل بین آن‌ها بر عملکرد جوجه‌های گوشتی در کل دوره (یک تا ۴۲ روزگی)

اثر متقابل نوع سبوس و نوع فراوری				
نوع سبوس	**نوع فرآوری**	**مصرف خوراک**	**افزایش وزن بدن**	**ضریب تبدیل خوراک**
برنج	خام	۳۹۰۳/۰۴	۲۰۱۸/۲۳	۱/۹۳^{a}
	باکتری	۳۹۸۲/۶۲	۲۲۲۳/۳۹	۱/۷۹^{b}
	قارچ	۴۱۴۵/۱۵	۲۴۳۴/۱۶	۱/۷۱^{bc}
	مایع شکمبه	۳۸۱۵/۱۵	۲۱۸۰/۵۱	۱/۷۵^{b}
گندم	خام	۳۸۲۶/۰۹	۲۱۷۹/۵۰	۱/۷۵^{b}
	باکتری	۴۰۸۸/۸۳	۲۳۰۱/۹۳	۱/۷۷^{b}
	قارچ	۴۲۷۳/۲۰	۲۶۱۱/۰۹	۱/۶۳^{c}
	مایع شکمبه	۳۹۹۸/۷۲	۲۳۰۸/۶۲	۱/۷۳^{b}
SEM		۱۱۷/۴۱	۷۰/۶۰	۰/۰۳
اثر اصلی نوع سبوس				
برنج		۳۹۶۱/۴۹	۲۲۱۴/۰۸^{b}	۱/۷۹^{a}
گندم		۴۰۴۶/۷۱	۲۳۵۰/۲۸^{a}	۱/۷۳^{b}
SEM		۵۸/۷۰	۳۵/۳۰	۰/۰۱
اثر اصلی نوع فرآوری				
خام		۳۸۶۴/۵۶^{b}	۲۰۹۸/۸۷^{c}	۱/۸۴^{a}
باکتری		۴۰۳۵/۷۳^{ab}	۲۲۶۲/۶۶^{b}	۱/۷۸^{ab}
قارچ		۴۲۰۹/۱۸^{a}	۲۵۲۲/۶۳^{a}	۱/۶۷^{c}
مایع شکمبه		۳۹۰۶/۹۴^{b}	۲۲۴۴/۵۷^{b}	۱/۷۴^{b}
SEM		۸۳/۰۲	۴۹/۹۲	۰/۰۲
سطح احتمال				
نوع سبوس		۰/۲۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲
نوع فرآوری		۰/۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
اثر متقابل		۰/۶۳	۰/۸۶	۰/۰۳

a-c: تفاوت میانگین‌ها در هر ستون با حروف نامشابه معنی‌دار است ($p<۰/۰۵$).

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

بهبود در ضریب تبدیل را می‌توان با تجزیه ماکرومولکول‌های پیچیده سلولز و تشکیل موادی با هضم و جذب آسان‌تر (مونوساکاریدها، دی‌ساکاریدها، الیگوساکاریدها و اسیدهای آمینه) توضیح داد که می‌توانند توسط میکروارگانیسم‌ها نیز مورداستفاده قرار گیرند (Sun *et al*., 2022). مطالعات قبلی نشان داده‌اند که جیره‌های غذایی تخمیرشده با *باسیلوس ساتیلیس* با بهبود فعالیت آنزیمی و استفاده از نیتروژن، انتشار آمونیاک توسط طیور را کاهش می‌دهند. علاوه بر این، *باسیلوس ساتیلیس* پروتئازها، آمیلاز و لیپاز ترشح می‌کند. پروتئازهای ترشح‌شده پروتئین‌ها را تجزیه می‌کنند تا پپتیدهای کوتاه تولید کنند (Sun *et al*., 2022)، در نتیجه هضم و جذب خوراک توسط جوجه‌های گوشتی را افزایش می‌دهند. هرچه فعالیت آنزیم‌های گوارشی در روده بیش‌تر باشد، میزان استفاده از خوراک و ظرفیت جذب آن بیش‌تر می‌شود (Gungor *et al*., 2021). بهبود افزایش وزن بدن ممکن است ناشی از اثرات تجزیه زیستی قارچ باشد که به بهبود هضم غذا، افزایش مصرف خوراک، کاهش تخمیر میکروبی، کوتاه‌ترشدن زمان عبور غذا در دستگاه گوارش و کاهش اتلاف انرژی داخلی منجر می‌شود. این عوامل به‌طور غیرمستقیم تأثیر مثبتی بر افزایش وزن پرندگان می‌گذارند (Akinfemi & Ogunwole, 2012). فعالیت تجزیه زیستی سبوس توسط قارچ *آسپرژیلوس نایجر* از طریق شکستن دیواره‌های سلولی و آزادسازی مواد مغذی محبوس انجام می‌شود که در نتیجه باعث کاهش ویسکوزیته و بهبود جذب مواد مغذی توسط پرندگان می‌شود. هم‌چنین، رشد قارچ‌ها دارای پتانسیل خنثی‌سازی عوامل ضد تغذیه‌ای مانند بتاگلوکان‌هاست و به‌طورکلی سیستم‌های آنزیمی ناقص جوجه‌ها را تکمیل می‌کند (Lawal *et al*., 2013).

بررسی تأثیر روش‌های مختلف فرآوری سبوس برنج و گندم بر ریخت‌شناسی دوازدهه جوجه‌های گوشتی در سن ۴۲ روزگی در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول ٤. اثرات اصلی نوع فرآوری و نوع سبوس و اثر متقابل بین آن‌ها بر ریخت‌شناسی دوازدهه جوجه‌های گوشتی در سن ۴۲ روزگی (میکرومتر)

اثر متقابل نوع سبوس و نوع فراوری							
نوع سبوس	**نوع فرآوری**	**ارتفاع پرز**	**عرض پرز**	**عمق کریپت**	**ضخامت اپیتلیوم**	**ضخامت عضله**	**نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت**
برنج	خام	۱۶۶۱/۱۳^{c}	۲۰۱/۶۸	۲۵۷/۲۰	۴۳/۱۷	۲۵۱/۴۴	۶/۴۵
	باکتری	۱۷۲۹/۳۱^{bc}	۲۰۶/۲۴	۲۲۹/۴۰	۴۴/۶۴	۳۰۶/۰۹	۷/۶۹
	قارچ	۱۷۶۹/۲۶^{bc}	۲۴۰/۸۲	۲۱۹/۶۴	۴۹/۷۶	۳۱۷/۰۰	۸/۱۰
	مایع شکمبه	۱۸۰۷/۲۹^{b}	۲۳۲/۸۰	۲۲۷/۷۶	۴۶/۹۷	۳۱۱/۰۹	۷/۹۸
گندم	خام	۱۷۴۸/۱۵^{bc}	۲۰۴/۳۹	۲۴۱/۱۵	۴۷/۶۶	۲۶۸/۳۳	۷/۲۶
	باکتری	۱۷۸۴/۰۳^{bc}	۲۲۸/۹۲	۲۲۹/۷۹	۴۷/۷۸	۳۱۵/۵۳	۷/۸۲
	قارچ	۱۹۹۷/۸۱^{a}	۲۶۴/۹۵	۲۰۹/۹۰	۵۰/۵۱	۳۷۱/۴۷	۹/۵۹
	مایع شکمبه	۱۷۸۵/۵۰^{bc}	۲۵۴/۲۶	۲۱۳/۴۴	۴۹/۸۹	۳۱۸/۹۴	۸/۳۸
SEM		۶۲/۷۱	۲۶/۴۷	۹/۷۵	۴/۶۴	۳۲/۴۱	۰/۴۵
اثر اصلی نوع سبوس							
برنج		۱۷۴۱/۷۵^{b}	۲۲۰/۳۹	۲۳۳/۵۰^{a}	۴۶/۱۴	۲۹۶/۳۶	۷/۵۵^{b}
گندم		۱۸۲۸/۸۷^{a}	۲۳۸/۱۳	۲۲۳/۵۷^{b}	۴۸/۹۶	۳۱۸/۵۷	۸/۲۶^{a}
SEM		۳۱/۳۵	۱۳/۲۳	۴/۸۷	۲/۳۲	۱۶/۲۰	۰/۲۲
اثر اصلی نوع فرآوری							
خام		۱۷۰۴/۶۴^{b}	۲۰۳/۰۴^{b}	۲۴۹/۱۸^{a}	۴۵/۴۲	۲۵۹/۷۸^{b}	۶/۸۵^{c}
باکتری		۱۷۵۶/۶۷^{b}	۲۱۷/۵۸^{ab}	۲۲۹/۵۹^{b}	۴۶/۲۱	۳۱۰/۸۱^{a}	۷/۷۶^{b}
قارچ		۱۸۸۳/۵۳^{a}	۲۵۲/۸۹^{a}	۲۱۴/۷۷^{c}	۵۰/۱۴	۳۴۴/۲۳^{a}	۸/۸۴^{a}
مایع شکمبه		۱۷۹۶/۴۰^{ab}	۲۴۳/۵۳^{a}	۲۲۰/۶۰^{bc}	۴۸/۴۳	۳۱۵/۰۱^{a}	۸/۱۸^{b}
SEM		۴۴/۳۴	۱۸/۷۲	۶/۸۹	۳/۲۸	۲۲/۹۱	۰/۳۲
سطح احتمال							
نوع سبوس		۰/۰۰۷	۰/۱۸	۰/۰۴	۰/۲۲	۰/۱۷	۰/۰۰۲
نوع فرآوری		۰/۰۰۱	۰/۰۳	۰/۰۰۰۱	۰/۴۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱
اثر متقابل		۰/۰۴	۰/۹۳	۰/۶۳	۰/۹۵	۰/۷۱	۰/۱۸

a-c: تفاوت میانگین‌ها در هر ستون با حروف نامشابه معنی‌دار است ($p<۰/۰۵$).

اثر متقابل نوع سبوس و نوع فرآوری بر ارتفاع پرز معنی‌دار بود، تیمار سبوس گندم تخمیرشده با قارچ بالاترین مقدار را در بین تمامی گروه‌ها داشت. کم‌ترین ارتفاع پرز در گروه سبوس برنج خام مشاهده شد. اثر متقابل بین نوع سبوس و نوع فرآوری بر پارامترهای عرض پرز، عمق کریپت، ضخامت اپیتلیوم، ضخامت عضله، نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت معنی‌دار نبود. نتایج حاکی از آن بود که مصرف سبوس گندم به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش ارتفاع پرزها در مقایسه با سبوس برنج گردید. هم‌چنین، نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت در گروه دریافت‌کننده سبوس گندم به‌طور معنی‌داری بالاتر از گروه سبوس برنج بود. در مقابل، عمق کریپت در گروه سبوس برنج بیش‌تر از سبوس گندم بود. ارتفاع پرز در روش تخمیر با قارچ نسبت به سبوس خام و روش تخمیر با باکتری به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت. اما با روش تخمیر با مایع شکمبه اختلاف معنی‌داری نداشت. برای عرض پرز نیز بین روش‌های تخمیر با قارچ و تخمیر مایع شکمبه اختلاف معنی‌دار نبود، اما با سبوس خام افزایش معنی‌داری را نشان داد. کم‌ترین عمق کریپت مربوط به روش‌های تخمیر با قارچ و مایع شکمبه بود. هم‌چنین تخمیر با باکتری نیز نسبت به سبوس خام موجب کاهش معنی‌دار عمق کریپت دوازدهه گردید. تمامی روش‌های تخمیر نسبت به سبوس خام موجب افزایش معنی‌دار ضخامت عضله گردید و در نهایت بیش‌ترین نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت در روش تخمیر سبوس با قارچ مشاهده شد.

نتایج حاصل از روش‌های مختلف فراوری سبوس برنج و گندم بر شاخص‌های ریخت‌شناسی ژژنوم در سن ۴۲ روزگی در جدول (۵) آمده است.

جدول ۵. اثرات اصلی نوع فرآوری و نوع سبوس و اثر متقابل بین آن‌ها بر ریخت‌شناسی ژژنوم جوجه‌های گوشتی در سن ۴۲ روزگی (میکرومتر)

اثر متقابل نوع سبوس و نوع فراوری							
نوع سبوس	**نوع فرآوری**	**ارتفاع پرز**	**عرض پرز**	**عمق کریپت**	**ضخامت اپیتلیوم**	**ضخامت عضله**	**نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت**
برنج	خام	۱۰۷۶/۹۴	۱۹۲/۳۸	۲۲۱/۲۰^{a}	۳۹/۱۰	۲۸۴/۷۱	۴/۹۷^{d}
	باکتری	۱۰۸۹/۱۵	۲۰۴/۴۱	۲۰۷/۲۰^{a}	۳۹/۷۵	۳۱۸/۹۹	۵/۲۵^{d}
	قارچ	۱۲۲۵/۸۰	۲۲۳/۸۵	۱۵۶/۸۶^{bc}	۴۹/۳۲	۳۶۲/۳۸	۷/۸۸^{ab}
	مایع شکمبه	۱۱۲۷/۶۲	۲۱۳/۳۷	۱۶۴/۲۲^{bc}	۴۳/۱۱	۳۵۵/۱۸	۷/۲۹^{ab}
گندم	خام	۱۱۰۷/۰۱	۱۹۴/۵۴	۱۷۳/۶۸^{b}	۴۰/۴۰	۳۲۴/۹۱	۶/۶۲^{c}
	باکتری	۱۲۱۰/۹۶	۲۱۱/۲۱	۱۷۹/۷۹^{b}	۴۹/۲۹	۳۲۵/۶۸	۷/۱۳^{bc}
	قارچ	۱۲۶۷/۳۵	۲۴۲/۱۷	۱۴۵/۶۱^{c}	۵۵/۳۶	۴۱۷/۷۶	۸/۴۳^{a}
	مایع شکمبه	۱۱۹۱/۶۳	۲۱۹/۸۵	۱۶۳/۴۴^{bc}	۴۵/۱۷	۳۷۶/۱۴	۷/۱۵^{bc}
SEM		۵۵/۶۰	۲۱/۱۹	۱۱/۵۸	۴/۵۵	۴۴/۰۰	۰/۵۶
اثر اصلی نوع سبوس							
برنج		۱۱۲۹/۸۷^{b}	۲۰۸/۵۰	۱۸۷/۳۷^{a}	۴۲/۸۲^{b}	۳۳۰/۳۱	۶/۳۵^{b}
گندم		۱۱۹۴/۲۴^{a}	۲۱۶/۹۴	۱۶۵/۶۳^{b}	۴۷/۵۶^{a}	۳۶۱/۱۲	۷/۳۳^{a}
SEM		۲۷/۸۰	۱۰/۵۹	۵/۷۹	۲/۲۷	۲۲/۰۰	۰/۲۸
اثر اصلی نوع فرآوری							
خام		۱۰۹۱/۹۷^{b}	۱۹۳/۴۶	۱۹۷/۴۴^{a}	۳۹/۷۵^{b}	۳۰۴/۸۱^{b}	۵/۷۹^{c}
باکتری		۱۱۵۰/۰۵^{b}	۲۰۷/۸۱	۱۹۳/۴۹^{a}	۴۴/۵۲^{b}	۳۲۲/۳۳^{b}	۶/۱۹^{c}
قارچ		۱۲۴۶/۵۷^{a}	۲۳۳/۰۱	۱۵۱/۲۴^{b}	۵۲/۳۴^{a}	۳۹۰/۰۷^{a}	۸/۱۵^{a}
مایع شکمبه		۱۱۵۹/۶۲^{b}	۲۱۶/۶۱	۱۶۳/۸۳^{b}	۴۴/۱۴^{b}	۳۶۵/۶۶^{ab}	۷/۲۲^{b}
SEM		۳۹/۳۲	۱۴/۹۸	۸/۱۹	۳/۲۲	۳۱/۱۱	۰/۳۹
سطح احتمال							
نوع سبوس		۰/۰۲	۰/۴۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۰۰۰۹
نوع فرآوری		۰/۰۰۲	۰/۰۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰۰۱
اثر متقابل		۰/۶۵	۰/۹۵	۰/۰۳	۰/۵۵	۰/۸۷	۰/۰۴

a-c: تفاوت میانگین‌ها در هر ستون با حروف نامشابه معنی‌دار است ($p<۰/۰۵$).

اثر متقابل نوع سبوس و روش فرآوری بر پارامترهای عمق کریپت و نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت ژژنوم معنی‌دار بود. به‌گونه‌ای‌که بیش‌ترین عمق کریپت مربوط به تیمار سبوس برنج خام و برنج فرآوری‌شده با باکتری و کم‌ترین عمق کریپت مربوط به تیمار سبوس گندم تخمیرشده با قارچ بود و به همین صورت بیش‌ترین نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت در تیمار سبوس گندم تخمیرشده با قارچ مشاهده گردید. در رابطه با سایر پارامترهای اندازه‌گیری‌شده از جمله ارتفاع پرز، عرض پرز، ضخامت اپیتلیوم، ضخامت عضله اثر متقابل معنی‌داری مشاهده نگردید. در بررسی اثر نوع سبوس مشاهده شد که سبوس گندم نسبت به سبوس برنج موجب افزایش ارتفاع پرز، ضخامت اپیتلیوم و کاهش عمق کریپت و در نهایت افزایش نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت گردید. در بررسی اثر روش فرآوری مشاهده‌شده که ارتفاع پرز و ضخامت اپیتلیوم و ضخامت عضله فقط در روش فرآوری با قارچ افزایش یافت. هم‌چنین عمق کریپت در دو روش فراوری با قارچ و مایع شکمبه کاهش یافت و در نهایت نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت در دو تیمار فرآوری با قارچ و مایع شکمبه افزایش یافت.

نتایج حاصل از روش‌های مختلف فرآوری سبوس برنج و گندم بر شاخص‌های ریخت‌شناسی ایلئوم در سن ۴۲ روزگی در جدول (۶) آمده است. اثر متقابل معنی‌داری بین نوع سبوس و نوع فرآوری بر ارتفاع پرز، عمق کریپت و نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت، مشاهده شد. بیش‌ترین ارتفاع پرز در تیمار سبوس گندم تخمیرشده با قارچ مشاهده شد و کم‌ترین ارتفاع پرز مربوط به سبوس خام برنج بود. هم‌چنین کم‌ترین عمق کریپت مربوط به دو تیمار سبوس برنج تخمیرشده با قارچ و مایع شکمبه بود و بیش‌ترین عمق کریپت در تیمار سبوس خام برنج مشاهده گردید. بررسی نتایج نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت در ایلئوم نشان داد که گروه دریافت‌کننده سبوس برنج تخمیرشده با قارچ و مایع شکمبه و هم‌چنین سبوس گندم تخمیرشده با قارچ بیش‌ترین نسبت را داشتند. کم‌ترین نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت ایلئوم در گروه دریافت‌کننده سبوس برنج خام مشاهده گردید.

جدول ٦. اثرات اصلی نوع فرآوری و نوع سبوس و اثر متقابل بین آن‌ها بر ریخت‌شناسی ایلئوم جوجه‌های گوشتی در سن ۴۲ روزگی (میکرومتر)

اثر متقابل نوع سبوس و نوع فراوری							
نوع سبوس	**نوع فرآوری**	**ارتفاع پرز**	**عرض پرز**	**عمق کریپت**	**ضخامت اپیتلیوم**	**ضخامت عضله**	**نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت**
برنج	خام	۸۶۱/۱۳^{c}	۲۰۷/۲۹	۱۷۹/۳۹^{a}	۴۰/۷۹	۲۱۶/۹۴	۴/۷۹^{d}
	باکتری	۹۲۹/۳۱^{bc}	۲۲۸/۷۴	۱۶۸/۸۳^{ab}	۴۳/۲۵	۲۸۰/۹۹	۵/۷۵^{c}
	قارچ	۹۶۹/۲۶^{bc}	۲۴۶/۸۱	۱۳۹/۲۴^{c}	۴۹/۱۴	۳۲۸/۵۹	۷/۰۲^{ab}
	مایع شکمبه	۱۰۰۷/۲۹^{b}	۲۴۷/۸۳	۱۴۳/۴۴^{c}	۴۸/۴۱	۳۱۸/۱۱	۷/۰۳^{ab}
گندم	خام	۹۴۸/۱۵^{bc}	۲۲۱/۶۲	۱۶۱/۶۵^{abc}	۴۶/۴۱	۲۷۹/۶۲	۵/۹۷^{c}
	باکتری	۹۸۴/۰۴^{bc}	۲۳۳/۱۶	۱۵۱/۰۴^{bc}	۴۵/۲۱	۲۹۰/۷۸	۶/۵۷^{bc}
	قارچ	۱۱۹۷/۸۱^{a}	۲۵۷/۱۶	۱۵۷/۲۰^{abc}	۵۲/۰۱	۳۶۰/۹۱	۷/۶۶^{a}
	مایع شکمبه	۹۸۵/۵۰^{bc}	۲۴۷/۸۳	۱۵۶/۹۵^{abc}	۴۳/۹۹	۳۱۵/۱۹	۶/۲۸^{bc}
SEM		۶۲/۷۱	۲۲/۰۷	۱۰/۶۷	۴/۶۲	۲۹/۹۳	۰/۴۶
اثر اصلی نوع سبوس							
برنج		۹۴۱/۷۵^{b}	۲۳۲/۶۷	۱۵۷/۷۲	۴۵/۴۰	۲۸۶/۱۶	۶/۱۵^{b}
گندم		۱۰۲۸/۸۷^{a}	۲۳۹/۹۴	۱۵۶/۷۱	۴۶/۹۰	۳۱۱/۶۳	۶/۶۲^{a}
SEM		۳۱/۳۵	۱۱/۰۳	۵/۳۳	۲/۳۱	۱۴/۹۶	۰/۲۳
اثر اصلی نوع فرآوری							
خام		۹۰۴/۶۴^{b}	۲۱۴/۴۶	۱۷۰/۵۲^{a}	۴۳/۶۰	۲۴۸/۲۸^{c}	۵/۳۸^{c}
باکتری		۹۵۶/۶۷^{b}	۲۳۰/۹۵	۱۵۹/۹۴^{ab}	۴۴/۲۳	۲۸۵/۸۹^{bc}	۶/۱۶^{b}
قارچ		۱۰۸۳/۵۳^{a}	۲۵۱/۹۸	۱۴۸/۲۲^{b}	۵۰/۵۷	۳۴۴/۷۵^{a}	۷/۳۴^{a}
مایع شکمبه		۹۹۶/۴۰^{ab}	۲۴۷/۸۳	۱۵۰/۲۰^{b}	۴۶/۲۰	۳۱۶/۶۵^{ab}	۶/۶۵^{b}
SEM		۴۴/۳۴	۱۵/۶۰	۷/۵۴	۳/۲۶	۲۱/۱۶	۰/۳۲
سطح احتمال							
نوع سبوس		۰/۰۰۷	۰/۵۱	۰/۸۴	۰/۵۱	۰/۰۹	۰/۰۴
نوع فرآوری		۰/۰۰۱	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۱۴	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱
اثر متقابل		۰/۰۴	۰/۹۶	۰/۰۲	۰/۴۷	۰/۴۳	۰/۰۲

a-c: تفاوت میانگین‌ها در هر ستون با حروف نامشابه معنی‌دار است ($p<0.05$).

Peng و همکاران (۲۰۲۲) گزارش دادند خوراک تخمیرشده با *لاکتوباسیلس کازئی* به مقدار سه کیلوگرم در تن موجب افزایش ارتفاع پرز در دوازدهه نسبت به گروه شاهد گردید. هم‌چنین نشان دادند نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت در دوازدهه و ایلئوم به‌طور معنی‌داری نسبت به گروه‌های شاهد افزایش یافت. به‌طور مشابه، Jazi و همکاران (۲۰۱۷) اشاره کردند که کنجاله پنبه‌دانه تخمیرشده باکتری‌های *کلی‌فرم* را در ایلئوم کاهش داد، ارتفاع پرز و نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت را در دوازدهه و ژژنوم افزایش داد. Zhang و همکاران (۲۰۱۲) گزارش دادند که برگ‌های تخمیرشده جینکوبیلوبا با آسپرژیلوس *نایجر* باعث افزایش نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت و کاهش عمق کریپت در ژژنوم می‌شود، درحالی‌که ارتفاع پرز را در دوازدهه و ژژنوم نیز افزایش می‌دهد که همسو با نتایج این پژوهش بود. Naji و همکاران (۲۰۱۶) در طی پژوهشی نشان دادند جوجه‌های گوشتی که با خوراک تخمیرشده تغذیه شدند (*لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *باسیلوس سوبتیلیس*، *بیفیدوباکتریوم* و *ساکارومایسس سرویزیه*) ارتفاع پرز و عمق کریپت بالاتری در دوازدهه، ژژنوم و ایلئوم نسبت به پرندگانی که با خوراک کنترل تغذیه شدند، داشتند. این پرندگان هم‌چنین نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت بالاتری در هر سه بخش داشتند که همسو با پژوهش حاضر می‌باشد.

تخمیر ممکن است سلامت و عملکرد روده را بهبود بخشد، زیرا روده محل اصلی ایمنی، هضم مواد غذایی و جذب است (Ogbuewu *et al*., 2024). مشخص شده است که خوراک‌های تخمیرشده با افزایش شاخص‌های طول روده، حفظ اکوسیستم‌های میکروبی طبیعی روده و بهبود ریخت‌شناسی روده، مانند ارتفاع پرزها، باعث افزایش رشد در جوجه‌های گوشتی می‌شوند. این خوراک‌ها هم‌چنین هضم و جذب را بهبود می‌بخشند و منجر به بهبود عملکرد تولید می‌شوند (Sugiharto *et al*., 2019). Missotten و همکاران (۲۰۱۳)، نشان دادند خوراک تخمیری می‌تواند با مهار التهاب بیش از حد در دستگاه گوارش، بافت‌شناسی را بهبود بخشد. خوراک تخمیری ممکن است تولید سیتوکین‌ها توسط زیرمجموعه‌های مختلف سلول‌های ایمنی را تحریک کنند که نقش‌های مهمی در القا و تنظیم پاسخ‌های ایمنی دارند. IL-10 به‌طورکلی به‌عنوان یک سیتوکین ضد التهابی شناخته می‌شود، تولید IL-10 و سلول‌های T تنظیمی می‌تواند بافت‌شناسی روده را بهبود دهد (Cong *et al*., 2002).

Chuang و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند که استفاده از ۱۰ درصد سبوس گندم تخمیرشده با *ساکارومایسس سروزیه* و فیتاز نسبت به گروه شاهد باعث افزایش ارتفاع پرز در ژژنوم گردید که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. همسو با نتایج این پژوهش، Sun و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که افزودن کنجاله کتان تخمیرشده با *باکتری باسیلوس سابتیلیس* ارتفاع پرزها و نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت در ژژنوم به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت. آن‌ها گزارش دادند که عملکرد جذبی در ژژنوم و ایلئوم جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با کنجاله کتان تخمیرشده بیش‌تر از گروه شاهد بود. مطالعه انجام‌شده توسط Liu و همکاران (۲۰۲۱)، نشان داد که خوراک تخمیرشده، ریخت‌شناسی ژژنوم را در مرغ‌های تخم‌گذار به‌طور قابل‌توجهی بهبود می‌بخشد که نشان‌دهنده اثرات مثبت آن بر عملکرد سد مخاطی روده و کاهش اثرات نامطلوب بر سلامت روده است.

کریپت را می‌توان به‌عنوان کارخانه پرزها در نظر گرفت؛ یک کریپت بزرگ نشان‌دهنده گردش سریع‌تر بافت و تقاضای انرژی بیش‌تر برای بافت‌سازی است (Awad *et al*., 2009). Xu و همکاران (۲۰۱۲) اثرات جایگزینی ۱۰ درصد از کنجاله سویا با کنجاله کلزای تخمیرشده با *لاکتوباسیلوس فرمنتوم* و *باسیلوس سوبتیلیس* را بر ریخت‌شناسی روده جوجه‌های گوشتی را موردبررسی قرار دادند. افزایش معنی‌داری در نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت در ژژنوم گزارش دادند که موافق با نتایج این پژوهش می‌باشد. همسو با نتایج این آزمایش Chu و همکاران (۲۰۱۷) گزارش دادند که عمق کریپت در گروه تیمار ۱۰ درصد سبوس گندم تخمیرشده با *تریکودرما* به‌طور معنی‌داری کم‌تر از گروه کنترل بود.

آن‌ها هم‌چنین گزارش دادند نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت ژژنوم در گروه ۱۰ درصد سبوس گندم تخمیرشده به‌طور معنی‌داری نسبت به گروه کنترل بیش‌تر بود که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. همسو با نتایج این پژوهش در یک بررسی نشان داده شد که کنجاله کلزای تخمیرشده در مقایسه با کنجاله کلزای تخمیرنشده تعداد گونه‌های *لاکتوباسیلوس* روده کور را افزایش داده و در عین‌حال نسبت ارتفاع پرز و نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت را در ژژنوم و ایلئوم افزایش داد (Chiang *et al*., 2009).

بهبود ریخت‌شناسی روده ممکن است بیش‌تر به‌دلیل کاهش عوامل ضد تغذیه‌ای و تخریب پلی‌ساکاریدهای ساختاری باشد (Chu *et al*., 2017). در توافق با نتایج پژوهش حاضر، Chu و همکاران (۲۰۱۷) گزارش دادند که استفاده از ۱۰ درصد سبوس گندم تخمیرشده با تریکودرما نسبت به گروه شاهد و تیمار ۱۰ درصد سبوس برنج خام ارتفاع پرز ایلئوم را افزایش داد. برخلاف نتایج این پژوهش، آن‌ها گزارش دادند که تفاوت معنی‌داری بر عمق کریپت ایلئوم مشاهده نشد. آن‌ها هم‌چنین گزارش دادند نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت در ایلئوم افزایش یافت که همسو با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد. Sun و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که افزودن کنجاله کتان تخمیرشده با باکتری *باسیلوس سابتیلیس* ارتفاع پرزها در ایلئوم را افزایش داد که موافق با نتایج این پژوهش بود.

افزایش طول پرزها می‌تواند با افزایش جمعیت باکتری‌های مفید روده، مانند لاکتوباسیل‌ها، در جوجه‌های گوشتی مرتبط باشد (Chiang *et al*., 2009). این باکتری‌ها از طریق تولید موادی مانند باکتریوسین‌ها و پدیده حذف رقابتی باعث کاهش عوامل بیماری‌زا مانند کلی‌فرم در روده شده و در نتیجه باعث کاهش اثرات نامطلوب آن‌ها بر روی ساختار و بافت روده می‌شوند (Sun *et al*., 2013). Gungor & Erene (۲۰۲۰) طی پژوهشی نشان دادند که استفاده از یک درصد هسته آلبالو تخمیرشده با قارچ *آسپرژیلوس نایجر* در جیره جوجه‌های گوشتی موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع پرز و افزایش نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپ ایلئوم نسبت به تیمارهای تخمیر نشده گردید که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

بهبود نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت در تیمار تخمیر سبوس گندم با قارچ ممکن است با افزایش تعداد باکتری‌های مفید مرتبط باشد (Xu *et al*., 2003). در مطالعه حاضر، تعداد گونه‌های لاکتوباسیلوس در پرندگان تیمارهای سبوس‌های فرآوری‌شده، بیش‌ترین بود. خوراک تخمیرشده حاوی مولکول‌های کوچکی با وزن مولکولی کم‌تر از ۶۰۰ دالتون، مانند اسیدهای آمینه، مونوساکاریدها، آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند ویتامین C یا پلی‌فنول‌ها، اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر است. این مولکول‌ها به‌راحتی توسط انتروسیت‌های پرزهای روده که سطح جذب روده‌ها هستند، جذب می‌شوند. هم‌چنین، ثابت شده است که افزایش ابعاد پرزهای روده با افزایش سطح جاذب روده‌ها و هم‌چنین سرعت جذب روده مرتبط است. ریخت‌شناسی روده (مانند ارتفاع پرزها، عمق کریپت) در پاسخ به عوامل خارجی، مانند وجود یا عدم وجود غذای مغذی خوب یا شرایط پاتولوژیک، تغییر می‌کند. غذای تخمیرشده به سرعت از لومن روده جذب می‌شود و هم‌چنین حرکات دودی روده را تحریک می‌کند. هم‌چنین، غذای تخمیرنشده مدت زمان بیش‌تری در روده باقی می‌ماند و وجود ضدمغذی‌ها منجر به تغییر و توسعه پاتولوژی مانند التهاب، آتروفی پرزها، پروتئین‌های اتصال محکم اپیتلیوم خراب شده و اختلال سلول‌های گابلت و کاهش ترشح لایه مخاطی، یک مجموعه را نشان می‌دهد که عواقب چشم‌گیری بر سلامت جوجه‌های گوشتی دارد (Predescu *et al*., 2024).

نتایج مربوط به تأثیر سبوس برنج و گندم تخمیرشده بر جمعیت میکروبی روده کور در جدول (۷) آمده است. اثرات متقابل بین دو فاکتور بر جمعیت *لاکتوباسیل‌ها* روده کور معنی‌دار بود، اما بر جمعیت *اشرشیاکلای* و *کلی‌فرم* معنی‌دار نبود در بین تیمارها گروه تخمیر سبوس گندم با مایع شکمبه بیش‌ترین جمعیت *لاکتوباسیل‌ها* را داشت و

گروه سبوس خام برنج کم‌ترین جمعیت *لاکتوباسیل* را داشتند. درحالی‌که جمعیت *لاکتوباسیل‌ها*، *اشیرشیاکلای* و کلی‌فرم تحت تأثیر نوع فرآوری قرار گرفت. پرندگان تغذیه‌شده با سبوس تخمیرشده با مایع شکمبه، جمعیت *لاکتوباسیلوس* روده کور بیش‌تری در مقایسه با سایر روش‌های فرآوری داشتند و علاوه بر این تخمیر سبوس‌ها با قارچ و باکتری نیز جمعیت *لاکتوباسیلوس* بیش‌تری در مقایسه با سبوس‌های تخمیر نشده، داشتند. هم‌چنین نتایج این آزمایش نشان داد که پرندگان تغذیه‌شده با سبوس تخمیرشده *اشرشیاکلای* و کلی‌فرم روده کور کم‌تری نسبت به پرندگان تغذیه‌شده با سبوس خام داشتند.

روده کور اندامی است که به‌دلیل فرایند تخمیر که در نتیجه زمان طولانی‌تر (سه تا چهار برابر میانگین سرعت عبور خوراک در دستگاه گوارش طیور) رخ می‌دهد، بیش‌ترین تنوع و فراوانی طبقه‌بندی میکروبیوتا را در خود جای داده است. روده کور تحت سلطه گونه‌های *لاکتوباسیلوس*، *رومینکوکوس*، *کلستریدیوم* و *یوباکتریوم* است که به مواد خوراکی غنی از سلولز و پلی‌ساکاریدها مرتبط هستند که در روده پیشین در برابر آنزیم‌های هضم مقاوم بودند (Diaz Carrasco *et al*., 2019). در مطالعه ما، مشخص شد که جمعیت *لاکتوباسیلوس‌ها* در روده کور توسط سبوس‌های تخمیرشده افزایش یافت. این امر را می‌توان به اگزوپلی‌ساکاریدها، پلی‌ساکاریدها ساختاری، زایلاناز و ترکیبات فنلی که در طول فرایند تخمیر تولید می‌شوند نسبت داد (Lin & Lee, 2020). برخی مطالعات اثرات محصولات تخمیر قارچی را بر افزایش جمعیت *لاکتوباسیلوس* در جوجه‌های گوشتی گزارش کرده‌اند (Lin *et al*., 2018).

لاکتوباسیلوس‌ها گروهی از باکتری‌های همزیست هستند که به تعدیل عملکرد ایمنی روده و ارتقای سلامت میزبان شناخته شده‌اند. گزارش شده است که *لاکتوباسیلوس‌ها* پپتیدهایی با وزن مولکولی کم آزاد می‌کنند که باعث فعال‌شدن سیستم ایمنی می‌شوند (Muir *et al*., 2000). علاوه بر این، *لاکتوباسیلوس‌ها* با تولید طیف گسترده‌ای از اسیدهای چرب زنجیره کوتاه، می‌توانند برخی از گونه‌های باکتریایی بیماری‌زا را به‌طور مستقیم یا با کاهش pH روده مهار کنند (Rinttilä & Apajalahti, 2013).

زایلاناز تعداد *لاکتوباسیل‌ها* و *بیفیدوباکتری‌ها* را در روده کور جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره غذایی مبتنی بر ذرت/سویا بهبود می‌بخشد (Mahmood & Guo, 2020). دلیل اینکه زایلاناز تولیدشده توسط سبوس گندم تخمیرشده جمعیت *لاکتوباسیلوس* را در دستگاه گوارش جوجه‌های گوشتی افزایش می‌دهد، ممکن است به این دلیل باشد که زایلاناز می‌تواند از زایلان (نوعی پلی‌ساکارید غیر نشاسته‌ای که در سبوس گندم فراوان است) زایلالیگوساکاریدها تولید کند که به‌عنوان پری‌بیوتیک عمل می‌کند (Nordberg *et al*., 2018). آنزیم‌های تجزیه‌کننده پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای هم‌چنین می‌توانند تولید الیگوساکاریدهایی را که توسط باکتری‌ها ترجیح داده می‌شوند، تسهیل کنند و از تخمیر پروتئین‌هایی که باعث فساد در روده کور می‌شوند، جلوگیری کنند (Jha & Berrocoso, 2015).

میکروفلور دستگاه گوارش در درجه اول از باکتری‌ها تشکیل شده است و جمعیت‌های کمی از قارچ‌ها و تک‌یاخته‌ها نیز در آن وجود دارد. ازآنجایی‌که گونه‌های مختلف باکتریایی نیازهای رشد و ترجیحات سوبسترای متمایزی دارند، محتوای شیمیایی جیره غذایی ممکن است بر ترکیب میکروفلور دستگاه گوارش تأثیر بگذارد. خوراک‌های تخمیرشده با کاهش ویسکوزیته خوراک، سلامت را بهبود می‌بخشند (Ménard *et al*., 2010). تجزیه و انحلال مواد مغذی، سوبستراهای قابل‌دسترس برای تخمیر میکروبی در روده، از جمله الیگوساکاریدها و مونوساکاریدها را افزایش می‌دهد. هم‌چنین افزایش تولید اسیدهای چرب کوتاه زنجیر ناشی از هضم به‌دلیل سوبستراهای تخمیرشده، رشد میکروفلور سالم‌تر (به‌عنوان مثال، باکتری‌های اسید لاکتیک) را افزایش می‌دهد (Annunziata *et al*., 2020).

جدول ۷. اثرات اصلی نوع فرآوری و نوع سبوس و اثر متقابل بین آن‌ها بر جمعیت میکروبی روده کور (لگاریتم واحد تشکیل کلنی بر گرم) جوجه‌های گوشتی در ۴۲ روزگی

اثر متقابل نوع سبوس و نوع فراوری				
نوع سبوس	**نوع فرآوری**	***لاکتوباسیل***	***اشریشیا کلای***	***کلی‌فرم***
برنج	خام	۶/۷۳^{cd}	۶/۷۸	۶/۸۳
	باکتری	۷/۲۰^{c}	۶/۵۳	۶/۳۴
	قارچ	۷/۶۱^{ab}	۶/۳۹	۶/۳۷
	مایع شکمبه	۷/۴۴^{bc}	۶/۳۸	۶/۳۸
گندم	خام	۶/۷۷^{cd}	۶/۶۳	۶/۷۱
	باکتری	۷/۲۲^{bc}	۶/۲۵	۶/۳۷
	قارچ	۷/۱۱^{cd}	۶/۴۳	۶/۴۸
	مایع شکمبه	۷/۹۰^{a}	۶/۵۵	۶/۵۲
SEM		۰/۱	۰/۰۹	۰/۰۶
اثر اصلی نوع سبوس				
برنج		۷/۲۴	۶/۵۲	۶/۴۸
گندم		۷/۲۵	۶/۴۶	۶/۵۲
SEM		۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۳
اثر اصلی نوع فرآوری				
خام		۶/۷۵^{c}	۶/۷۰^{a}	۶/۷۷^{a}
باکتری		۷/۲۱^{b}	۶/۳۹^{b}	۶/۳۵^{b}
قارچ		۷/۳۶^{b}	۶/۴۱^{b}	۶/۴۳^{b}
مایع شکمبه		۷/۶۷^{a}	۶/۴۶^{b}	۶/۴۵^{b}
SEM		۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۵
سطح احتمال				
نوع سبوس		۰/۹	۰/۵	۰/۵
نوع فرآوری		۰/۰۰۰۱	۰/۰۴	۰/۰۰۰۵
اثر متقابل		۰/۰۱	۰/۲	۰/۴

a-c: تفاوت میانگین‌ها در هر ستون با حروف نامشابه معنی‌دار است (p<۰/۰۵).

نتایج مربوط به تأثیر روش‌های مختلف فراوری سبوس برنج و گندم بر pH قسمت‌های مختلف دستگاه گوارش جوجه‌های گوشتی در سن ۴۲ روزگی در جدول (۸) آورده شده است. اثر متقابل معنی‌داری در pH سنگدان مشاهده شد. به‌گونه‌ای‌که کم‌ترین pH مربوط به تیمار سبوس گندم تخمیرشده با مایع شکمبه بود و بیش‌ترین PH مربوط به تیمار سبوس گندم خام بود. در مقابل، بررسی‌ها نشان داد که اثر متقابل معنی‌داری بین فاکتورهای موردمطالعه بر pH دوازدهه، ژژنوم و ایلئوم مشاهده نشد. هم‌چنین نوع سبوس نیز بر pH قسمت‌های مختلف دستگاه گوارش معنی‌دار نبود. تحلیل آماری تأثیر روش‌های فرآوری بر pH سنگدان و دوازدهه، یک اثر معنی‌دار را آشکار ساخت. نتایج حاکی از آن است که تمامی روش‌های فرآوری به‌طور مؤثری باعث کاهش pH در سنگدان و دوازدهه شده و این کاهش در مقایسه با تیمار سبوس خام معنی‌دار بود.

Chiang و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که جوجه‌های گوشتی که جیره‌های حاوی سطوح شش و هشت درصد هسته خرمای تخمیری مصرف نمودند pH کم‌تری در ایلئوم نسبت به تیمار شاهد داشتند که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. هم‌چنین Ashayerizadeh و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که کنجاله کلزا و تخم پنبه دانه فرآوری‌شده با *باسیلوس سابتیلیس و آسپرژیلوس نایجر* pH را در ایلئوم جوجه‌های گوشتی کاهش داد. استفاده از ۱۰ درصد کنجاله کلزای تخمیرشده در خوراک جوجه‌های گوشتی منجر به افزایش تعداد باکتری‌های اسید لاکتیک در روده بزرگ نسبت به گروه شاهد شد که منجر به کاهش تعداد میکروب‌های بیماری‌زا در روده گردید (Chiang *et al.*, 2009). به‌طور مشابه، جوجه‌های گوشتی که با سبوس گندم تخمیرشده تغذیه می‌شدند، افزایش قابل‌توجهی در تعداد باکتری‌های اسیدلاکتیک در روده نشان دادند (Lin *et al.*, 2018).

میکروارگانیسم‌های مفید در تخمیر، متابولیت‌هایی مانند اسید لاکتیک، باکتریوسین، مواد ضد باکتری و الکل‌ها تولید می‌کنند که می‌توانند pH دستگاه گوارش را کاهش، باکتری‌های مضر مانند *اشریشیاکلای* را مهار و هضم و جذب روده را بهبود بخشند (Predescu *et al*., 2024).

جدول ۸. ثرات اصلی نوع فرآوری و نوع سبوس و اثر متقابل بین آن‌ها بر pH قسمت‌های مختلف دستگاه گوارش جوجه‌های گوشتی در سن ۴۲ روزگی

اثر متقابل نوع سبوس و نوع فراوری					
نوع سبوس	نوع فرآوری	سنگدان	دوازده	ژژنوم	ایلئوم
برنج	خام	۳/۵۶^{ab}	۶/۲۸	۶/۳۸	۷/۲۷
	باکتری	۳/۱۴^{cd}	۶/۱۰	۶/۳۸	۶/۶۰
	قارچ	۳/۳۲^{bc}	۵/۹۳	۶/۴۴	۷/۱۸
	مایع شکمبه	۳/۴۲^{abc}	۵/۹۲	۶/۵۲	۶/۸۹
گندم	خام	۳/۶۷^{a}	۶/۲۲	۶/۵۹	۶/۹۲
	باکتری	۳/۳۲^{bc}	۵/۹۶	۶/۴۴	۶/۷۲
	قارچ	۳/۱۱^{cd}	۵/۷۸	۶/۴۹	۶/۹۲
	مایع شکمبه	۳/۰۰^{d}	۵/۹۶	۶/۳۱	۶/۷۰
SEM		۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۱۶
اثر اصلی نوع سبوس					
برنج		۳/۳۶	۶/۰۶	۶/۴۳	۶/۹۸
گندم		۳/۲۷	۵/۹۸	۶/۴۶	۶/۸۱
SEM		۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۸
اثر اصلی نوع فرآوری					
خام		۳/۶۱^{a}	۶/۲۵^{a}	۶/۴۸	۷/۰۹
باکتری		۳/۲۳^{b}	۶/۰۳^{b}	۶/۴۱	۶/۶۶
قارچ		۳/۲۲^{b}	۵/۸۵^{b}	۶/۴۷	۷/۰۵
مایع شکمبه		۳/۲۱^{b}	۵/۹۴^{b}	۶/۴۱	۶/۷۹
SEM		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۱۱
سطح احتمال					
نوع سبوس		۰/۲	۰/۱	۰/۷	۰/۱
نوع فرآوری		۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۸	۰/۸	۰/۰۵
اثر متقابل		۰/۰۱	۰/۶	۰/۳	۰/۵

a-c: تفاوت میانگین‌ها در هر ستون با حروف نامشابه معنی‌دار است (p<۰/۰۵).

۴. نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که فرآوری با قارچ، به‌ویژه سبوس گندم تخمیرشده با قارچ، منجر به بهبود عملکرد (افزایش وزن و کاهش ضریب تبدیل) و ریخت‌شناسی روده (افزایش ارتفاع پرز) شد. هم‌چنین، فرآوری تخمیری سبوس، به‌ویژه با مایع شکمبه و قارچ، جمعیت باکتری‌های مفید (*لاکتوباسیل‌ها*) را افزایش و باکتری‌های مضر (*اشرشیاکلای*) را کاهش داد. در کل، فرآوری سبوس با روش‌های تخمیری، پتانسیل بالایی برای بهبود تغذیه و سلامت جوجه‌های گوشتی دارد.

۵. ملاحظات اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌هاست.

۶. مشارکت نویسندگان

فاطمه ایمانی‌نژاد: دانشجوی دکترا، تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج؛

سمیه سالاری: استاد راهنمای رساله دکترا، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله؛

حسین معتمدی: مشاور رساله دکترا، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش به‌ویژه بخش فرآوری نمونه‌ها.

۷. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۸. تشکر و قدردانی

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به‌خاطر حمایت مالی از پروژه، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۹. منابع

Akinfemi, A., & Ogunwole, O. A. (2012). Chemical composition and in vitro digestibility of rice straw treated with Pleurotus ostreatus, Pleurotus pulmonarius and Pleurotus tuber-regium. *Slovak Journal of Animal Science*, *45*(1), 14-20.

Annunziata, G., Arnone, A., Ciampaglia, R., Tenore, G. C., & Novellino, E. (2020). Fermentation of foods and beverages as a tool for increasing availability of bioactive compounds. Focus on short-chain fatty acids. *Foods*, *9*(8), 999. https://doi.org/10.3390/foods9080999.

Ashayerizadeh, A., Dastar, B., Shargh, M. S., Mahoonak, A. S., & Zerehdaran, S. (2017). Fermented rapeseed meal is effective in controlling *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* infection and improving growth performance in broiler chicks. *Veterinary Microbiology*, *201*, 93-102. https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2017.01.007.

Awad, W. A., Ghareeb, K., Abdel-Raheem, S., & Böhm, J. (2009). Effects of dietary inclusion of probiotic and synbiotic on growth performance, organ weights, and intestinal histomorpHology of broiler chickens. *Poultry Science*, *88*(1), 49-56. https://doi.org/10.3382/ps.2008-00244.

Belal, E. (2017). Assessment of the performance of chicks fed with wheat bran solid fermented by *Trichoderma longibrachiatum* (SF1). *Journal of Sustainable Agricultural Sciences*, *43*(2), 115-126. https://doi.org/ 10.21608/jsas.2017.1162.1008.

Belewu, M. A. (2006). Conversion of Mansonia tree sawdust and cotton plant byproduct into feed by White rot fungus. *African Journal of Biotechnology*, *5* (19), 1763-1764.

Chiang, G., Lu, W. Q., Piao, X. S., Hu, J. K., Gong, L. M., & Thacker, P. A. (2009). Effects of feeding solid-state fermented rapeseed meal on performance, nutrient digestibility, intestinal ecology and intestinal morpHology of broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *23*(2), 263-271. https://doi.org/10.5713/ajas.2010.90145.

Chu, Y. T., Lo, C. T., Chang, S. C., & Lee, T. T. (2017). Effects of Trichoderma fermented wheat bran on growth performance, intestinal morphology and histological findings in broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*, *16*(1), 82-92. https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1241133.

Chuang, W. Y., Lin, L. J., Hsieh, Y. C., Chang, S. C., & Lee, T. T. (2020). Effects of *saccharomyces cerevisiae* and phytase co-fermentation of wheat bran on growth, antioxidation, immunity and intestinal morphology in broilers. *Animal Bioscience*, *34*(7), 1157. https://doi.org/10.5713/ajas.20.0399.

Cong, Y., Weaver, C. T., Lazenby, A., & Elson, C. O. (2002). Bacterial-reactive T regulatory cells inhibit pathogenic immune responses to the enteric flora. *The Journal of Immunology*, *169*(11), 6112-6119. https://doi.org/10.4049/jimmunol.169.11.6112.

Debi, M. R., Wichert, B. A., & Liesegang, A. (2018). Method development to reduce the fiber content of wheat bran and rice bran through anaerobic fermentation with rumen liquor for use in poultry feed. *Asian-Australasian journal of Animal Sciences*, *32*(3), 395. https://doi.org/ 10.5713/ajas.18.0446.

Debi, M. R., Wichert, B. A., & Liesegang, A. (2022). Anaerobic fermentation of rice bran with rumen liquor for reducing their fiber components to use as chicken feed. *Heliyon*, *8*(4), e09275. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09275.

Diaz Carrasco, J.M., Casanova, N.A., & Fernández Miyakawa, M.E. (2019). Microbiota, gut health and chicken productivity: what is the connection?. *Microorganisms*, *7*(10), 374. https://doi.org/10.3390/microorganisms7100374.

Donkor, O. N., Henriksson, A., Vasiljevic, T., & Shah, N. P. (2006). Effect of acidification on the activity of probiotics in yoghurt during cold storage. *International Dairy Journal*, *16*(10), 1181-1189. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.10.008

Gungor, E., & Erener, G. (2020). Effect of dietary raw and fermented sour cherry kernel (*Prunus cerasu*s L.) on digestibility, intestinal morpHology and caecal microflora in broiler chickens. *Poultry Science*, *99*(1), 471-478. https://doi.org/10.3382/ps/pez538.

Gungor, E., Altop, A., & Erener, G. (2021). Effect of raw and fermented grape pomace on the growth performance, antioxidant status, intestinal morphology, and selected bacterial species in broiler chicks. *Animals*, *11*(2), 364. https://doi.org/10.3390/ani11020364.

Gungor, E., Altop, A., Erener, G., & Coskun, I. (2021). Effect of raw and fermented pomegranate pomace on performance, antioxidant activity, intestinal microbiota and morphology in broiler chickens. *Archives of Animal Nutrition*, *75*(2), 137-152. https://doi.org/10.1080/1745039X.2021.1894065.

Guo, L., Lv, J., Liu, Y., Ma, H., Chen, B., Hao, K., & Min, Y. (2021). Effects of different fermented feeds on production performance, cecal microorganisms, and intestinal immunity of laying hens. *Animals*, *11*(10), 2799. https://doi.org/10.3390/ani11102799.

Huang, C. M., Chuang, W. Y., Lin, W. C., Lin, L. J., Chang, S. C., & Lee, T. T. (2020). Production performances and antioxidant activities of laying hens fed *Aspergillus oryzae* and phytase co-fermented wheat bran. *Animal Bioscience*, *34*(3), 371. https://doi.org/ 10.5713/ajas.20.0116

Jazi, V., Boldaji, F., Dastar, B., Hashemi, S. R., & Ashayerizadeh, A. (2017). Effects of fermented cottonseed meal on the growth performance, gastrointestinal microflora population and small intestinal morphology in broiler chickens. *British Poultry Science*, *58*(4), 402-408. https://doi.org/10.1080/00071668.2017.1315051.

Jha, R., & Berrocoso, J.D. (2015). Dietary fiber utilization and its effects on physiological functions and gut health of swine. *Animal*, *9*(9), 1441-1452. https://doi.org/10.1017/S1751731115000919.

Kim, C. H., Kim, G. B., Chang, M. B., Bae, G. S., Paik, I. K., & Kil, D. Y. (2012). Effect of dietary supplementation of Lactobacillus-fermented Artemisia princeps on growth performance, meat lipid peroxidation, and intestinal microflora in Hy-line Brown male chickens. *Poultry Science*, *91*(11), 2845-2851. https://doi.org/10.3382/ps.2012-02467.

Kim, S. A., Rubinelli, P. M., Park, S. H., & Ricke, S. C. (2018). Ability of Arkansas LaKast and LaKast hybrid rice bran to reduce *Salmonella Typhimurium* in chicken cecal incubations and effects on cecal microbiota. *Frontiers in Microbiology*, 9, 134. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00134.

Lawal, T. E., Ademola, S. G., Owoseni, A., Atobatele, O. E., & Oriye, L. O. (2013). Use of *Aspergillus niger* for improving the feeding value of rice offal. *African Journal of Biotechnology*, *12*(20). https://doi.org/ 10.5897/AJB12.2642.

Li, L., Li, W. F., Liu, S. Z., & Wang, H. H. (2020). Probiotic fermented feed improved the production, health and nutrient utilisation of yellow-feathered broilers reared in high altitude in Tibet. *British Poultry Science*, *61*(6), 746-753. https://doi.org/10.1080/00071668.2020.1801988.

Lin, W.C., & Lee, T.T. (2020). Laetiporus sulphureus–fermented wheat bran enhanced the broiler growth performance by improving the intestinal microflora and inflammation status. *Poultry Science*, *99*(7), pp.3606-3616. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.04.011.

Lin, W.C., Lee, M.T., Lo, C.T., Chang, S.C., & Lee, T.T. (2018). Effects of dietary supplementation of Trichoderma pseudokoningii fermented enzyme powder on growth performance, intestinal morpHology, microflora and serum antioxidantive status in broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*, *17*(1), 153-164. https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1355273.

Liu, Y., Feng, J., Wang, Y., Lv, J., Li, J., Guo, L., & Min, Y. (2021). Fermented corn–soybean meal mixed feed modulates intestinal morphology, barrier functions and cecal microbiota in laying hens. *Animals*, *11*(11), 3059. https://doi.org/10.3390/ani11113059.

Mahmood, T., & Guo, Y. (2020). Dietary fiber and chicken microbiome interaction: Where will it lead to?. *Animal Nutrition*, *6*(1), 1-8. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2019.11.004.

Ménard, S., Cerf-Bensussan, N., & Heyman, M. (2010). Multiple facets of intestinal permeability and epithelial handling of dietary antigens. *Mucosal Immunology*, *3*(3), 247-259. https://doi.org/10.1038/mi.2010.5

Missotten, J. A., Michiels, J., Dierick, N., Ovyn, A., Akbarian, A., & De Smet, S. (2013). Effect of fermented moist feed on performance, gut bacteria and gut histo-morphology in broilers. *British Poultry Science*, *54*(5), 627-634. https://doi.org/10.1080/00071668.2013.811718.

Muir, W.I., Bryden, W.L., & Husband, A.J. (2000). Immunity, vaccination and the avian intestinal tract. *Developmental and Comparative Immunology*, *24*(2-3), 325-342. https://doi.org/10.1016/S0145-305X(99)00081-6.

Naji, S. A., Al-Zamili, I. F. B., Hasan, S. A., & Al-Gharawi, J. K. M. (2016). The Effects of Fermented Feed on Broiler Production and Intestinal MorpHology. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, *39*(4).

Nordberg Karlsson, E., Schmitz, E., Linares-Pastén, J. A., & Adlercreutz, P. (2018). Endo-xylanases as tools for production of substituted xylooligosaccharides with prebiotic properties. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *102*(21), 9081-9088.

Ogbuewu, I. P., Mabelebele, M., & Mbajiorgu, C. A. (2024). Determination of performance response of broilers to fermented tropical leaf meal supplementation using meta-analytical method. *Tropical Animal Health and Production*, *56*(2), 98. https://doi.org/10.1007/s11250-024-03944.

Oguri, M., Okano, K., Ieki, H., Kitagawa, M., Tadokoro, O., Sano, Y., ..., & Kumagai, H. (2013). Feed intake, digestibility, nitrogen utilization, ruminal condition and blood metabolites in wethers fed ground bamboo pellets cultured with white-rot fungus (*Ceriporiopsis subvermispora*) and mixed with soybean curd residue and soy sauce cake. *Animal Science Journal*, *84*(9), 650-655. https://doi.org/10.1111/asj.12054.

Peng, W., Talpur, M. Z., Zeng, Y., Xie, P., Li, J., Wang, S., ..., & Zhang, H. (2022). Influence of fermented feed additive on gut morphology, immune status, and microbiota in broilers. *BMC Veterinary Research*, *18*(1), 218. https://doi.org/10.1186/s12917-022-03322-4.

Predescu, N. C., Stefan, G., Rosu, M. P., & Papuc, C. (2024). Fermented feed in broiler diets reduces the antinutritional factors, improves productive performances and modulates gut microbiome—A review. *Agriculture*, *14*(10), 1752. https://doi.org/10.3390/agriculture14101752.

Rinttilä, T., & Apajalahti, J. (2013). Intestinal microbiota and metabolites—Implications for broiler chicken health and performance. *Journal of Applied Poultry Research*, *22*(3), 647-658. https://doi.org/10.3382/japr.2013-00742.

Slominski, B. A., Boros, D., Campbell, L. D., Guenter, W., & Jones, O. (2004). Wheat by-products in poultry nutrition. Part I. Chemical and nutritive composition of wheat screenings, bakery by-products and wheat mill run. *Canadian Journal of Animal Science*, *84*(3), 421-428. https://doi.org/10.4141/A03-112.

Soltani Naseri, K., Ghanbari, F., Bayat Kouhsar, J., & Taliey, F. (2018). Effect of chemical and biological processing methods on chemical composition, gas production parameters and in vitro digestibility of Cicer arietinum wastes. *Research on Animal Production*, *9*(22), 72-82. doi:10.29252/rap.9.22.72.

Souci, S.W., & Kirchhoff, E. (2008). Food Composition and Nutrition Tables. 7th ed. Stuttgart, Germany: MedpHarm Scientific Publ.

Sugiharto, S., & Ranjitkar, S. (2019). Recent advances in fermented feeds towards improved broiler chicken performance, gastrointestinal tract microecology and immune responses: A review. *Animal Nutrition*, *5*(1), 1-10. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.11.001.

Sun, H., Chen, D., Cai, H., Chang, W., Wang, Z., Liu, G., ..., & Chen, Z. (2022). Effects of fermenting the plant fraction of a complete feed on the growth performance, nutrient utilization, antioxidant functions, meat quality, and intestinal microbiota of broilers. *Animals*, *12*(20), 2870. https://doi.org/10.3390/ani12202870.

Sun, H., Tang, J. W., Yao, X. H., Wu, Y. F., Wang, X., & Feng, J. (2013). Effects of dietary inclusion of fermented cottonseed meal on growth, cecal microbial population, small intestinal morphology, and digestive enzyme activity of broilers. *Tropical Animal Health and Production*, *45*(4), 987-993. https://doi.org/10.1007/s11250-012-0322-y.

Sundu, B., Adjis, A., Sarjuni, S., Mozin, S., & Hatta, U. (2021, June). Fermented palm kernel meal by different fungi in broiler diets. In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science* (Vol. 788, No. 1, p. 012041). IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1755-1315/788/1/012041.

Ti, H., Guo, J., Zhang, R., Wei, Z., Liu, L., Bai, Y., & Zhang, M. (2015). Phenolic profiles and antioxidant activity in four tissue fractions of whole brown rice. *RSC Advances*, *5*(123), 101507-101518.

Wang, Y., Zheng, W., Deng, W., Fang, H., Hu, H., Zhu, H., & Yao, W. (2023). Effect of fermented heat-treated rice bran on performance and possible role of intestinal microbiota in laying hens. *Frontiers in Microbiology*, *14*, 1144567. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1144567.

Wizna, H. A., Rizal, Y., Dharma, A., & Kompiang, I. P. (2009). Improving the quality of tapioca by-products (onggok) as poultry feed through fermentation by Bacillus amyloliquefaciens. *Pakistan Journal of Nutrition*, *8*(10), 1636-1640.

Wu, X., Li, F., & Wu, W. (2020). Effects of rice bran rancidity on the oxidation and structural characteristics of rice bran protein. *Lwt*, *120*, 108943. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108943.

Xu, F. Z., Zeng, X. G., & Ding, X. L. (2012). Effects of replacing soybean meal with fermented rapeseed meal on performance, serum biochemical variables and intestinal morphology of broilers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *25*(12), 1734. https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12249.

Xu, Z. R., Hu, C. H., Xia, M. S., Zhan, X. A., & Wang, M. Q. (2003). Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers. *Poultry Science*, *82*(6), 1030-1036. https://doi.org/10.1093/ps/82.6.1030.

Zhang, X., Cao, F., Sun, Z., Yu, W., Zhao, L., Wang, G., & Wang, T. (2012). Effect of feeding Aspergillus niger-fermented Ginkgo biloba-leaves on growth, small intestinal structure and function of broiler chicks. *Livestock Science*, *147*(1-3), 170-180. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.04.018.