

Research Article

The effects of supplementation of zinc sulfate and prebiotic on production performance, cecal microbial population, immune response and hematological parameters in laying Japanese quails

Nazanin Rahbar¹, Mohammad Taher Mirakzehi^{1*}, Hassan Saleh^{1,2}

¹ Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Higher Education Complex of Saravan, Saravan, Iran

² Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran

Key Words

Zinc sulfate
Prebiotic
Production performance
Microbial population
Immune response
Blood parameters
Japanese laying quail

Abstract

Introduction: Zinc is incorporated in various organic and mineral forms to improve its absorption and utilization in the diets of poultry. Prebiotics are also used as potential alternatives to antibiotics in poultry diets, reducing the pH of the intestine and thereby decreasing the population of pathogenic bacteria, improving gastrointestinal health, and enhancing nutrient utilization efficiency. The aim of this experiment is to investigate the effects of zinc and prebiotic inulin on production performance, cecal microbial population, and immune response in laying Japanese quails.

Materials & Methods: This experiment was conducted in a 2×2 factorial arrangements using 240 laying Japanese quail chicks at 48 days of age. The study included 4 treatments, each with 6 replicates and 10 birds per replicate. The factors were zinc in the form of zinc sulfate (0 and 100 mg/kg) and inulin (0 and 10 g/kg). The experiment lasted 7 weeks, during which the birds had *ad libitum* access to water and feed. Daily egg production (number and weight) was recorded, and weekly feed intake was calculated. At the end of the experiment, eggs were collected for quantitative and qualitative assessments. On the last day of the trial, one bird per replicate was randomly selected, blood samples were taken, and then the birds were slaughtered. The contents of the cecum were taken to assess the microbial population. To evaluate humoral immunity, the SRBC test was used. Therefore, two injections were administered on days 29 and 36 of the experimental period to determine the primary and secondary antibody responses.

Results: The results showed that supplementation of either zinc sulfate or inulin led to an increase in egg weight, egg production, egg mass, and improved feed conversion ratio. Supplementation of inulin resulted in increased egg weight and shell thickness. Additionally, it led to an increase in the population of beneficial bacteria such as *Lactobacillus* and *Bifidobacterium*, while reducing the population of harmful bacteria like *Clostridium* and *Coliform*. Zinc sulfate supplementation enhanced the antibody response against SRBC. Adding inulin to the diet also led to a reduction in cholesterol and an increase in serum HDL levels.

Conclusion: The results indicate that supplementation with Zinc sulfate and inulin, without imposing any negative effect, leads to improved production performance in laying quails through modulation of the gut microbiota population and enhancement of immune response.

Article info

* Corresponding Author's email:
taher8588@gmail.com

Received: 31 May 2024

Reviewed: 5 July 2024

Revised: 7 September 2024

Accepted: 10 October 2024

مقاله علمی - پژوهشی

اثرات مکمل سولفات روی و پری‌بیوتیک بر عملکرد تولید، جمعیت میکروبی روده کور، پاسخ ایمنی و فراسنجه‌های خونی بلدرچین‌های تخم‌گذار ژاپنی

نازنین رهبر^۱، محمدطاهر میرکزه‌هی^{۱*}، حسن صالح^۲

^۱ گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران

^۲ گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

کلمات کلیدی

سولفات روی
پری‌بیوتیک
عملکرد تولید
جمعیت میکروبی
پاسخ ایمنی
فراسنجه‌های خونی
بلدرچین‌های تخم‌گذار ژاپنی

چکیده

مقدمه: امروزه عنصر روی به دو شکل آلی و معدنی جهت بهبود راندمان جذب و قابلیت دسترسی آن به جیره‌های طیور افزوده می‌شود. پری‌بیوتیک‌ها نیز به عنوان جایگزین بالقوه آنتی‌بیوتیک‌ها جهت کاهش pH روده، کاهش جمعیت باکتری‌های بیماری‌زا، بهبود سلامت دستگاه گوارش و افزایش راندمان قابلیت دسترسی مواد مغذی به جیره‌های غذایی طیور افزوده می‌گردند. هدف از انجام این آزمایش بررسی اثرات مکمل‌سازی سولفات روی و پری‌بیوتیک اینولین بر عملکرد تولید، جمعیت میکروبی روده کور و پاسخ ایمنی در بلدرچین‌های تخم‌گذار ژاپنی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش با استفاده از ۲۴۰ قطعه جوجه بلدرچین تخم‌گذار در سن ۴۸ روزگی به صورت آزمایش فاکتوریل ۲×۲ در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تعداد تیمارها ۴، با ۶ تکرار ۱۰ قطعه‌ای بود. فاکتورها عبارت بودند از: عنصر روی به شکل سولفات روی (صفر و ۱۰۰ میلی‌گرم/کیلوگرم) و اینولین (صفر و ۱۰ گرم/کیلوگرم). طول دوره آزمایش ۷ هفته بود و پرندگان در طول دوره آزمایش به آب و خوراک دسترسی آزاد داشتند. تولید روزانه تخم (تعداد و وزن) ثبت شد و مصرف خوراک به صورت هفتگی محاسبه شد. در ۴ روز پایانی دوره آزمایش، تخم بلدرچین‌ها جهت تعیین خصوصیات کمی و کیفی جمع‌آوری شدند. در روز پایانی دوره آزمایش یک پرند به ازای هر تکرار به صورت تصادفی انتخاب خونگیری و سپس کشتار شد. محتویات روده کور جهت تعیین جمعیت میکروبی جمع‌آوری شد. به منظور تعیین پاسخ ایمنی هومورال از تست SRBC استفاده شد. بدین منظور ۲ تزریق در روزهای ۲۹ و ۳۶ دوره آزمایش جهت تعیین پاسخ‌های اولیه و ثانویه آنتی‌بادی انجام شد.

نتایج: نتایج نشان داد که کاربرد مکمل سولفات روی یا اینولین در جیره بلدرچین تخم‌گذار منجر به افزایش وزن تخم، تولید تخم، توده تخم و بهبود ضریب تبدیل گردید ($P < 0/05$). مکمل‌سازی اینولین منجر به افزایش وزن تخم و ضخامت پوسته شد ($P < 0/05$). اینولین جمعیت باکتری‌های مفید نظیر لاکتوباسیل‌ها و بیفیدو باکتری‌های روده کور را افزایش و جمعیت باکتری‌های مضر نظیر کلوستریدیوم و کولیفرم در آن را کاهش داد ($P < 0/01$). مکمل‌سازی سولفات روی منجر به افزایش پاسخ آنتی‌بادی علیه SRBC ($P < 0/05$) و کاهش سطح کلوسترول و افزایش سطح HDL در سرم پرندگان شد ($P < 0/01$).

بحث و نتیجه‌گیری: به طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که سولفات روی و اینولین و بدون اعمال هرگونه اثرات منفی از طریق تعدیل جمعیت میکروبی روده کور و بهبود پاسخ ایمنی منجر به بهبود عملکرد تولید و بهبود صفات کمی و کیفی تخم در بلدرچین‌های تخم‌گذار می‌شود.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
taher8588@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۱ خرداد ۱۴۰۳
تاریخ داوری: ۱۵ تیر ۱۴۰۳
تاریخ اصلاح: ۱۷ شهریور ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۹ مهر ۱۴۰۳

مقدمه

امروزه با توجه به نیاز مصرف کنندگان مبنی بر استفاده از محصولات ارگانیک عاری از آنتی بیوتیک و خطرناک ناشی از ایجاد مقاومت آنتی بیوتیکی ضرورت استفاده از جایگزین های موثر آنتی بیوتیکی بیش از پیش احساس می شود. لذا اولین گام در این راستا تولید تخم هایی فاقد بقایای آنتی بیوتیکی جهت جوجه درآوری و در مراحل بعدی گنجاندن جایگزین های مناسب در جیره غذایی پرندگان حاصله جهت بهبود و تقویت عملکرد طبیعی دستگاه گوارش می باشد (۱). در این راستا پری بیوتیک ها به عنوان جایگزین های بالقوه آنتی بیوتیک ها در جیره غذایی طیور استفاده می شوند به طوری که از طریق کاهش pH روده باعث کاهش جمعیت باکتری های بیماری زا در روده، تولید اسید لاکتیک در روده کور، بهبود سلامت دستگاه گوارش و افزایش راندمان دسترسی مواد غذایی می شوند (۲). اینولین مخلوطی از اولیگومرها و پلیمرهای طبیعی از واحدهای فروکتوز است که از ریشه های کاسنی مشتق می گردد (۳). اینولین در قسمت های ابتدایی دستگاه گوارش حیوانات تک معده ای و به ویژه طیور مورد هضم قرار نگرفته و به صورت دست نخورده به انتهای روده کوچک و روده بزرگ می رسد. تحقیقات نشان داده است که محصولات فرعی حاصل از تخمیر اینولین منجر به رشد باکتری های مفید روده نظیر بیفیدوباکترها و لاکتوباسیلوس ها و هم چنین تحریک و تقویت ایمنی روده می گردند (۴). گزارش شده است که مکمل سازی اینولین به میزان ۱ گرم در کیلوگرم باعث بهبود تولید تخم در مرغ های تخم گذار فاز پایانی تولید و هم چنین افزودن آن در سطح ۱ تا ۲ درصد باعث کاهش میزان کلسترول تخم می گردد (۵). Shang و همکاران، گزارش کردند که مکمل سازی اینولین در سطوح ۱۰ تا ۲۰ گرم در جیره غذایی مرغ های تخم گذار منجر به بهبود عملکرد تولید و افزایش ضخامت پوسته تخم می گردد (۶). علاوه بر این تحقیقات نشان داده است که اینولین از طریق تحریک سیستم ایمنی باعث ارتقاء سلامت پرندگان از طریق تقویت ایمنی هومورال و افزایش ایمونوگلوبولین های G و M و هم چنین تقویت ایمنی سلولی از طریق لنفوسیت های T می گردد (۷، ۸). هم چنین کاهش کلسترول سرم و تخم از مزایای تغذیه ای مکمل سازی اینولین در جیره غذایی طیور تخم گذار می باشد که قبلاً به اثبات رسیده است (۶). امروزه مکمل ها و افزودنی های خوراکی به طور موثری در صنعت طیور به منظور افزایش عملکرد و بهبود کلی وضعیت سلامت پرندگان به جیره های غذایی افزوده می شوند. با پیشرفت نانو تکنولوژی عنصر روی به اشکال مختلف آلی و معدنی جهت بهبود راندمان جذب و قابلیت دسترسی آن به جیره های غذایی طیور و سایر حیوانات اهلی افزوده می شود (۹). به طور کلی روی ۳ نقش بیولوژیک مهم در بدن دام به

عهده دارد: نقش کاتالایزیک به عنوان کوفاکتور بیش از ۳۰۰ آنزیم بدن، نقش ساختمانی و نقش تنظیمی. علاوه بر این روی نقش مهمی را در کنترل آسیب های ناشی از عوامل بیماری زا نظیر کلستریدیوم پرفرینژنز و کمک به حفظ یکپارچگی روده و نهایتاً تقویت سیستم ایمنی و حفظ سلامت کلی پرندگان بازی می کند. نقش های دیگری را نیز در فرآیندهای سنتز اسید نوکلئیک، تکثیر سلول، سنتز پروتئین، متابولیسم کربوهیدرات و پروتئین و فعالیت های آنزیمی در سلول زنده به عهده دارد (۱۰). بلدرچین های ژاپنی به کمبود روی بسیار حساس بوده به طوری که برای رشد طبیعی، پر درآوری و توسعه سیستم اسکلتی کاملاً ضروری است. نیازمندی های روی برای جوجه بلدرچین های در حال رشد و بالغ بین ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خوراک برآورد شده است (۱۱). گزارش شده است که مکمل سازی سولفات روی در سطوح ۳۰ و ۶۰ میلی گرم در کیلوگرم در جیره غذایی بلدرچین های تخم گذار تحت شرایط استرس گرمایی منجر به بهبود تولید تخم، ضریب تبدیل خوراک و پارامترهای کیفی تخم می گردد (۱۲). Kucuk و همکاران گزارش کردند که افزودن روی به میزان ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم به جیره غذایی مرغ های تخم گذار منجر به بهبود پارامترهای عملکردی، ضخامت پوسته و واحدها می گردد (۱۳). در رابطه با اثرات روی بر جمعیت میکروبی دستگاه گوارش گزارش شده است که مکمل سازی روی به شکل اکسید آلومینوسیلیکات روی در سطح ۶۰۰ میلی گرم در کیلوگرم در جوجه های گوشتی علاوه بر بهبود پارامترهای عملکردی باعث کاهش جمعیت باکتری های کلستریدیوم در هر دو روده کوچک و روده کور می گردد (۱۴). هدف از انجام این آزمایش بررسی اثرات اصلی و متقابل افزودن ماده معدنی سولفات روی و اینولین به عنوان یک پری بیوتیک به صورت آزمایش فاکتوریل بر مولفه های عملکردی، جمعیت میکروبی روده کور، پاسخ ایمنی و هم چنین برخی متابولیت های خونی در بلدرچین های ژاپنی تخم گذار می باشد.

مواد و روش ها

پرندگان و جیره های آزمایشی: این آزمایش در مزرعه پرورش بلدرچین مجتمع آموزش عالی سراوان انجام گرفت. در ابتدا به تعداد ۳۰۰ قطعه بلدرچین تخم گذار در سن ۴۰ روزگی از یک شرکت محلی تولید و پرورش بلدرچین های تخم گذار خریداری شد. از میان پرندگان خریداری شده به تعداد ۲۴۰ قطعه با متوسط وزن یکسان (154 ± 0.250) جهت اجرای آزمایش جداد شد. پرندگان مورد نظر ابتدا جهت سازگاری با محیط با یک جیره تجاری به مدت ۱ هفته تغذیه شدند. سپس در سن ۴۸ روزگی با جیره های آزمایشی مورد تغذیه قرار گرفتند. تیمارهای آزمایشی به صورت آزمایش فاکتوریل 2×2 در قالب طرح کاملاً تصادفی

جمعیت میکروبی روده کور: به منظور تعیین جمعیت میکروبی

روده کور در انتهای آزمایش یک قطعه پرنده به‌ازای هر تکرار پس از اعمال گرسنگی به مدت ۸ ساعت کشتار سطح حفره شکمی توسط الک‌ضد عفونی، با استفاده از اسکالپل استریل باز و روده‌های کور جدا گردید. مقدار ۱ گرم از محتویات روده کور برداشت، داخل فلاسک حاوی ازت قرار گرفته و به آزمایشگاه منتقل گردید. سپس به مقدار ۱ گرم از محتویات روده کور ۹ میلی‌لیتر سرم فیزیولوژیک اضافه و سوسپانسیون تهیه و نهایتاً رقت‌هایی بر مبنای ۱۰ از نمونه‌ها به وجود آمد. جهت انجام فرآیند کشت، به مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از رقت مورد نظر برداشت و به سطوح محیط‌های کشت اضافه گردید. برای شمارش کل باکتری‌های غیر هوازی از محیط کشت نوترینت آگار (Nutrient agar)، کولی‌فرم‌ها از محیط کشت مک کانکی آگار (MacConkey agar)، کلستریدیوم‌ها از محیط کشت بلاد آگار (Blood agar)، بیفیدوباکترها از محیط کشت بیرنس آگار (Beerens' agar) و لاکتوباسیلوس‌ها از ام آر اس آگار (Man-Rogosa-Sharpe agar) استفاده گردید. دمای انکوباسیون نمونه‌ها ۳۹ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ تا ۷۲ ساعت و سپس پرگنه‌های میکروبی مورد شمارش قرار گرفت. نتایج به صورت لگاریتمی ($\log_{10}$) به‌ازای هر گرم محتویات روده کور بیان گردید.

پاسخ ایمنی**ایمنی هومورال:** به منظور بررسی پاسخ ایمنی هومورال از محلول

۵ درصد گلبول قرمز گوسفندی (SRBC: Sheep red blood cells) استفاده گردید. در روز ۲۹ دوره آزمایش یک پرنده از هر تکرار به صورت تصادفی انتخاب و مقدار ۰/۲ میلی‌لیتر از محلول فوق به درون عضله سینه تزریق شد. سپس بعد از یک هفته (روز ۳۶ دوره آزمایش) به منظور تعیین پاسخ اولیه آنتی‌بادی علیه SRBC از ورید بال پرندگان که قبلاً به آن‌ها SRBC تزریق شده بود خونگیری و تزریق مجدد محلول ۵ درصد گلبول قرمز به درون عضله سینه این پرندگان تکرار شد. جهت تعیین پاسخ ثانویه آنتی‌بادی علیه SRBC یک هفته پس از تزریق ثانویه (روز ۴۳ دوره آزمایش) مجدداً از ورید بال این پرندگان خونگیری به عمل آمد. نمونه‌ها جهت جداسازی سرم در دور ۱۳۰۰ به مدت ۲۰ دقیقه مورد سانتریفیوژ قرار گرفته و نمونه‌های حاصل جهت آنالیز بعدی در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند.

ایمنی سلولی: جهت بررسی فعالیت ایمنی سلولی از تست حساسیت

شدید با زوفیل پوستی (CBH: Cutaneous basophil hypersensitivity) استفاده گردید. بدین منظور در روز ۴۴ دوره آزمایش ۲ قطعه پرنده به‌ازای هر تکرار به صورت تصادفی انتخاب ابتدا ضخامت پرده بین انگشتان دوم و سوم هر دو پاها را راست و چپ با استفاده از کولیس دیجیتال به دقت اندازه‌گیری و ثبت گردید. سپس مقدار ۱۰۰ میکروگرم

و فاکتورها عبارت بودند از: عنصر روی به شکل سولفات روی (سطوح صفر و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و اینولین (سطوح صفر و ۱۰ گرم در کیلوگرم). هر تیمار دارای ۶ تکرار و هر تکرار دارای ۱۰ قطعه بلدرچین تخم‌گذار بود. سیستم پرورشی مورد استفاده سیستم قفس و پرندگان به صورت انفرادی، هر کدام در قفس‌هایی به ابعاد $(50 \times 30 \times 50 \text{ cm}^3)$ دارای آب‌خوری و دان‌خوری مجزا قرار داشتند. طول دوره آزمایش ۷ هفته و کلیه پرندگان در طول مدت آزمایش به آب و خوراک دسترسی آزاد داشتند. برنامه‌نوی نیز مطابق با دستورالعمل پرورش بلدرچین‌های تخم‌گذار رعایت می‌شد. جیره مورد استفاده بر پایه دانه ذرت و کنجاله سویا تنظیم شد. کلیه جیره‌ها از سطوح انرژی متابولیسمی و پروتئین خام یکسان برخوردار بودند. مکمل ویتامینی معدنی مورد استفاده در جیره‌های حاوی مکمل فاقد روی بودند و مطابق با جداول احتیاجات NRC متعادل شدند (۱۱). اینولین مکمل شده در این آزمایش تولید شرکت فیبرله ترکیه و عنصر روی مورد استفاده نیز به شکل سولفات روی (ZnSO_4) دارای خلوص ۳۰ درصد و تولید شرکت گیوان شیمی بود. کلیه روش‌های مورد استفاده در این آزمایش به تایید کمیته اخلاق مجتمع آموزش عالی سراوان رسید.

عملکرد تولید و صفات کیفی تخم: در طول دوره آزمایش

تخم‌های تولیدی به صورت روزانه جمع‌آوری، توزین و ثبت می‌گردیدند. مصرف خوراک نیز به صورت هفتگی در پایان هر هفته از اختلاف کل خوراک تخصیص داده شده و خوراک باقی‌مانده اندازه‌گیری می‌گردید. تولید تخم براساس مرغ روز محاسبه گردید. توده تخم نیز از حاصل ضرب وزن تخم در تولید تخم به دست آمد. جهت محاسبه ضریب تبدیل، خوراک مصرفی (گرم) بر توده تخم (گرم) تقسیم گردید. در انتهای دوره آزمایش تخم‌های تولیدی ۴ روز پایانی آزمایش جمع‌آوری و به منظور تعیین خصوصیات اجزاء تخم در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد در یخچال قرار گرفت. بدین منظور ۳ عدد تخم به صورت تصادفی انتخاب توزین و به‌آرامی روی سطح شیشه‌ای صاف شکسته شد. زرده‌ها با دقت روی دستمال کاغذی قرار گرفته و توزین می‌گردید. پوسته‌ها به‌آرامی با آب مقطر شستشو و به مدت ۲۴ ساعت جهت خشک شدن در دمای اتاق قرار گرفته و سپس توزین شدند. از تفریق وزن زرده و پوسته از کل وزن تخم وزن سفیده محاسبه شد. ضخامت پوسته نیز با استفاده از میکرومتر دیجیتال در ۳ نقطه مختلف شامل نوک‌های باریک، پهن و هم‌چنین منطقه وسط اندازه‌گیری شد و میانگین این ۳ عدد به عنوان ضخامت پوسته در نظر گرفته شد. جهت اندازه‌گیری واحدها و تخم‌ها پس از این‌که توزین شدند روی سطح شیشه‌ای صاف شکسته و نوک ارتفاع سنج در فاصله ۱ سانتی‌متری زرده قرار گرفت. پس از برخورد عدد مربوطه به عنوان ارتفاع آلبومن در نظر گرفته شد و واحد هاو محاسبه شد (۱۵).

فراسنجه‌های خونی: در انتهای آزمایش قبل از کشتار پرندگان که پیش‌تر اشاره گردید از محل ورید بال خونگیری به عمل آمد. نمونه‌های سرم جداسازی و تازمان آنالیز در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در زمان آنالیز نمونه‌ها یخ‌گشایی و فراسنجه‌های خونی شامل پروتئین کل، آلبومین، اسید اوریک، تری‌گلیسرید، کلسترول و HDL با استفاده از دستگاه اتوآنالایزر (Random Access Analyser A15, Biosystem Corp, Spain) و کیت‌های تجاری بیوسیستم مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

تجزیه آماری: به منظور تجزیه آماری کلیه داده‌های این آزمایش از رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ استفاده گردید (۱۷). مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌دار ۰/۰۵ انجام شد. مدل آماری طرح در ذیل بیان گردیده است: $Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$ در این رابطه: Y_{ijk} : مقدار هر مشاهده، μ : میانگین جامعه، A_i : اثر روی، B_j : اثر اینولین، $(AB)_{ij}$: اثر متقابل بین سولفات روی و اینولین و ε_{ijk} : خطای آزمایشی می‌باشد.

نتایج

صفات عملکردی: اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات عملکردی بلدرچین‌های تخم‌گذار در جدول ۱ نشان داده شده است. داده‌ها نشان می‌دهد که سولفات روی و اینولین دارای اثرات اصلی معنی‌داری بر وزن تخم، تولید تخم، توده تخم و ضریب تبدیل می‌باشند ($P < 0.05$). به طوری که افزودن این مکمل‌ها به جیره غذایی منجر به افزایش معنی‌دار وزن تخم، تولید تخم، توده تخم و کاهش ضریب تبدیل خوراک شده است. هم‌چنین اثر متقابل معنی‌داری بین مکمل‌های سولفات روی و اینولین بر وزن تخم مشاهده گردید ($P < 0.05$). این اثر متقابل نشان داد که افزودن اینولین در سطح ۱۰ گرم در کیلوگرم به جیره‌های حاوی ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات روی و به طور برعکس افزودن ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات روی در جیره‌های حاوی ۱۰ گرم در کیلوگرم اینولین منجر به افزایش معنی‌دار وزن تخم می‌گردد (به ترتیب ۱۱/۵۰ در مقایسه با ۱۱/۱۹ و ۱۱/۵۰ در مقایسه با ۱۱/۱۸ گرم؛ $P < 0.05$). هیچ‌گونه اثرات معنی‌داری از تیمارهای آزمایشی بر مصرف خوراک مشاهده نگردید ($P > 0.05$).

خصوصیات کمی و کیفی تخم: اثرات تیمارهای آزمایشی بر خصوصیات کمی و کیفی تخم بلدرچین‌های تخم‌گذار در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج بیان‌گر این است که اینولین اثرات اصلی معنی‌داری بر وزن پوسته، ضخامت پوسته، درصد پوسته و واحد هاو دارد. به طوری که منجر به افزایش معنی‌دار این پارامترها شده است.

فیتوهمگلوتینین در ۰/۱ میلی‌لیتر محلول سالین به صورت زیر جلدی به پرده بین انگشتان دوم و سوم پای چپ تزریق گردید. پای راست به عنوان کنترل در نظر گرفته شد و به پرده بین انگشتان دوم و سوم آن ۰/۱ میلی‌لیتر محلول سالین تزریق گردید. ضخامت پرده بعد از گذشت ۱۲ و ۲۴ ساعت پس از تزریق مجدداً اندازه‌گیری گردید. اختلاف بین ضخامت پرده قبل از تزریق و بعد از تزریق در ساعات مورد نظر به عنوان پاسخ به تست مورد نظر تلقی گردید. جهت تعیین تیترا آنتی‌بادی علیه SRBC از روش الایزا (Enzyme-linked immune sorbent assay) استفاده گردید. برای تعیین تیترا ایمونوگلوبولین G از مرکاپتواتانول ۰/۰۱ مولار استفاده گردید. ایمونوگلوبولین M نیز از تفریق تیترا ایمونوگلوبولین G از تیترا ایمونوگلوبولین کل محاسبه شد (۱۶).

جدول ۱: جیره پایه مورد استفاده و ترکیبات محاسبه شده آن (درصد)

اجزاء ماده خوراکی (درصد)	
ذرت	۵۵/۶۰
کنجاله سویا (% ۴۴)	۲۵/۲۰
گلوتن ذرت (% ۶۰)	۴/۳۰
روغن آفتابگردان	۵/۵۰
دی‌کلسیم فسفات	۱/۵۰
سنگ آهک	۷/۰۰
نمک	۰/۳۰
مکمل معدنی و ویتامینی ^۱ (فاقد روی)	۰/۳۰
آل-لیزین	۰/۱۰
دی-آل متیونین	۰/۱۵
کوکسیدواستات	۰/۰۵

انرژی و مواد مغذی محاسبه شده

انرژی قابل متابولیسم (کیلوکالری / کیلوگرم)	۲۹۶۰
پروتئین خام (درصد)	۲۰/۳۵
فیبر خام (درصد)	۲/۸۶
عصاره اتری (درصد)	۲/۷۵
کلسیم (درصد)	۳/۰۷
فسفر قابل دسترس (درصد)	۰/۳۸
لیزین (درصد)	۱/۰۶
متیونین (درصد)	۰/۴۹
متیونین + سیستئین (درصد)	۰/۸۱

^۱ پرمیکس ویتامینی معدنی در هر کیلوگرم جیره حاوی: ویتامین A ۹۰۰۰ واحد بین‌المللی، ویتامین D₃ ۲۰۰۰ واحد بین‌المللی، ویتامین E ۱۸ واحد بین‌المللی، ویتامین K ۲ میلی‌گرم، ویتامین B₂ ۶/۶ میلی‌گرم، نیاسین ۳۰ میلی‌گرم، ویتامین B₆ ۱۰ میلی‌گرم، ۳ میلی‌گرم ویتامین B₁₂، اسید فولیک ۱ میلی‌گرم، ۱/۸ میلی‌گرم ویتامین B₁، ۱۵ میکروگرم ویتامین B₁₂، بیوتین ۰/۱ میلی‌گرم، کولین کلراید ۵۰۰ میلی‌گرم و اتوکسی کوئین ۰/۱ میلی‌گرم. سلنیوم ۰/۲ میلی‌گرم، ید ۱ میلی‌گرم، مس ۱۰ میلی‌گرم، آهن ۵۰ میلی‌گرم و منگنز ۱۰۰ میلی‌گرم.

($P < 0.01$). هیچ‌گونه اثرات اصلی معنی‌داری از اینولین بر وزن آلبومن، درصد آلبومن، وزن زرده و درصد زرده مشاهده نشد ($P > 0.05$). کم‌ و کیفی تخم بلدرچین نشان نداد ($P > 0.05$). داده‌ها نشان می‌دهد که اثر متقابل معنی‌داری بین سولفات روی و اینولین بر پارامترهای مورد نظر وجود نداشت ($P > 0.05$).

جدول ۲: اثرات مکمل‌های سولفات روی و اینولین بر برخی صفات عملکردی بلدرچین‌های تخم‌گذار

صفات					تیمار	
ضرب	توده تخم	تولید تخم (مرغ)	وزن تخم	مصرف خوراک	اینولین	سولفات روی
تبدیل	(گرم)	روز، درصد	(گرم)	(گرم/بلدرچین/روز)	(گرم/کیلوگرم)	(میلی‌گرم/کیلوگرم)
۳/۳۷	۸/۵۹	۷۷/۵۸	۱۱/۰۷ ^b	۲۸/۹۴	.	.
۳/۲۵	۸/۸۵	۷۹/۰۸	۱۱/۱۸ ^b	۲۸/۷۵	۱۰	.
۳/۲۸	۸/۸۲	۷۸/۸۳	۱۱/۱۹ ^b	۲۸/۹۱	.	۱۰۰
۳/۰۴	۹/۴۸	۸۲/۵۰	۱۱/۵۰ ^a	۲۸/۸۵	۱۰	۱۰۰
۰/۰۴۴	۰/۱۱۶	۱/۰۴۱	۰/۰۳۷	۰/۰۷۶		SEM
						اثرات اصلی
۳/۳۱ ^a	۸/۷۲ ^b	۷۸/۳۳ ^b	۱۱/۱۳ ^b	۲۸/۸۴	.	سولفات روی
۳/۱۶ ^b	۹/۱۵ ^a	۸۰/۶۶ ^a	۱۱/۳۴ ^a	۲۸/۸۸	۱۰۰	
۳/۳۲ ^a	۸/۷۰ ^b	۷۸/۲۰ ^b	۱۱/۱۳ ^b	۲۸/۹۲	.	اینولین
۳/۱۴ ^b	۹/۱۶ ^a	۸۰/۷۹ ^a	۱۱/۳۴ ^a	۲۸/۸۰	۱۰	
		P-value				
۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۷	۰/۰۲۲	<۰/۰۰۰۱	۰/۱۱۴		اینولین
۰/۱۸۵	۰/۰۹۵	۰/۳۱۰	۰/۰۱۶	۰/۴۰۷		سولفات روی × اینولین

^{a-b} حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌گر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

به جیره غذایی پرندگان با روند مشابهی در پاسخ ثانویه نیز مشاهده گردید ($P < 0.01$). هیچ‌گونه اثرات معنی‌داری از اینولین بر تیترا آنتی‌بادی مشاهده نگردید ($P > 0.05$). نتایج تست CBH نشان داد که سولفات روی اثرات اصلی معنی‌داری بر افزایش حساسیت و ورم پرده بین انگشتان دوم و سوم پرندگان بعد از گذشت ۱۲ و ۲۴ ساعت دارد ($P < 0.01$). هم‌چنین افزایش ضخامت پرده مذکور در اثر مکمل‌سازی اینولین نیز بعد از گذشت ۱۲ ساعت مشاهده گردید ($P < 0.05$).

فراسنجه‌های خونی: نتایج تاثیر تیمارهای آزمایشی بر فراسنجه‌های خونی نشان می‌دهد که افزودن اینولین به جیره‌های غذایی پرندگان ضمن کاهش معنی‌دار کلسترول سرم خون، سطوح HDL سرم را افزایش داده است ($P < 0.01$). اما تاثیر معنی‌داری بر فراسنجه‌های دیگر نداشت ($P > 0.05$). هم‌چنین هیچ‌گونه اثرات معنی‌داری از سولفات روی بر فراسنجه‌های خونی مشاهده نگردید ($P > 0.05$) (جدول ۷).

جمعیت میکروبی روده کور: اثر تیمارهای آزمایشی بر جمعیت میکروبی روده کور در جدول ۴ آورده شده است. داده‌های جدول نشان می‌دهد که اینولین اثرات اصلی معنی‌داری بر جمعیت باکتری‌های کلاستریدیوم، لاکتوباسیلوس، بیفیدوباکتریوم و کلی‌فرم دارد ($P < 0.01$). به‌طوری‌که باعث کاهش جمعیت باکتری‌های کلاستریدیوم و کولیفرم و افزایش جمعیت باکتری‌های لاکتوباسیلوس و بیفیدوباکتریوم شده است. اما جمعیت کل باکتری‌های غیرهوازی تحت تاثیر قرار نگرفته است ($P > 0.05$). اما مکمل‌سازی سولفات روی تاثیر معنی‌داری بر جمعیت میکروبی روده کور در این آزمایش ندارد ($P > 0.05$).

پاسخ ایمنی: پاسخ ایمنی هومورال علیه SRBC و هم‌چنین پاسخ ایمنی سلولی علیه تست CBH به‌ترتیب در جداول ۵ و ۶ نشان داده شده است. نتایج بیان‌گر این است که اثرات اصلی معنی‌داری از سولفات روی بر تیترا ایمونوگلوبولین‌های G و کل در پاسخ اولیه وجود دارد. به‌طوری‌که منجر به افزایش تیترا آن‌ها گردیده است ($P < 0.05$). این افزایش تیترا ایمونوگلوبولین‌های G و کل با افزودن سولفات روی

جدول ۳: اثرات مکمل‌های سولفات روی و اینولین بر خصوصیات کیفی تخم بلدرچین‌های تخم‌گذار

صفات								تیمار	
واحد هاو	درصد آلبومن (%)	وزن آلبومن (گرم)	درصد زرده (%)	وزن زرده (گرم)	ضخامت پوسته (میکرومتر)	درصد پوسته (%)	وزن پوسته (گرم)	اینولین (گرم/کیلوگرم)	سولفات روی (میلی گرم/کیلوگرم)
۸۴/۰۵	۵۵/۲۷	۶/۱۲	۳۴/۷۴	۳/۸۴	۰/۳۳۱	۹/۹۷	۱/۱۰	۰	۰
۸۴/۳۱	۵۴/۴۳	۶/۰۹	۳۴/۹۰	۳/۹۰	۰/۳۵۱	۱۰/۶۶	۱/۱۹	۱۰	۰
۸۴/۰۹	۵۵/۵۵	۶/۲۱	۳۴/۴۸	۳/۸۵	۰/۳۳۳	۹/۹۶	۱/۱۱	۰	۱۰۰
۸۴/۴۰	۵۶/۲۵	۶/۴۶	۳۳/۲۹	۳/۸۳	۰/۳۵۲	۱۰/۴۵	۱/۲۰	۱۰	۱۰۰
۰/۰۸۷	۱/۰۵۱	۰/۱۱۷	۱/۰۵۵	۰/۱۲۰	۰/۰۰۵	۰/۰۸۸	۰/۰۰۹		SEM
اثرات اصلی									
۸۴/۱۸	۵۴/۸۵	۶/۱۰	۳۴/۸۲	۳/۸۷	۰/۳۴۱	۱۰/۳۲	۱/۱۴	۰	سولفات روی
۸۴/۲۴	۵۵/۹۰	۶/۳۴	۳۳/۸۸	۳/۸۴	۰/۳۴۳	۱۰/۲۰	۱/۱۵	۱۰۰	
۸۴/۰۷ ^b	۵۵/۴۱	۶/۱۶	۳۴/۶۱	۳/۸۵	۰/۳۳۲ ^b	۹/۹۷ ^b	۱/۱۱ ^b	۰	اینولین
۸۴/۳۵ ^a	۵۵/۳۴	۶/۲۷	۳۴/۰۹	۳/۸۶	۰/۳۵۱ ^a	۱۰/۵۵ ^a	۱/۱۹ ^a	۱۰	
P-value									
۰/۴۶۶	۰/۳۲۹	۰/۰۵۸	۰/۳۸۵	۰/۷۹۰	۰/۷۷۱	۰/۲۱۴	۰/۳۵۲		سولفات روی
۰/۰۰۳	۰/۹۴۶	۰/۳۶۱	۰/۶۲۹	۰/۹۰۷	۰/۰۰۲	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱		اینولین
۰/۷۷۸	۰/۴۷۰	۰/۲۴۲	۰/۵۳۱	۰/۷۲۸	۰/۹۳۰	۰/۲۷۱	۰/۹۳۱	×	سولفات روی
اینولین									

a-b حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌گر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

جدول ۴: اثرات مکمل‌های سولفات روی و اینولین بر جمعیت میکروبی روده کور بلدرچین‌های تخم‌گذار

جمعیت میکروبی					تیمار	
کل باکتری‌های غیرهوازی	کولیفرم ^۴	بیفیدوباکتریوم ^۳	لاکتوباسیلوس ^۲	کلستریدیوم ^۱	اینولین (گرم/کیلوگرم)	سولفات روی (میلی گرم/کیلوگرم)
۷/۸۸	۴/۹۴	۴/۲۵	۵/۸۰	۴/۹۴	۰	۰
۷/۸۹	۴/۸۷	۴/۳۴	۵/۹۱	۴/۸۱	۱۰	۰
۷/۸۷	۴/۹۳	۴/۲۴	۵/۸۲	۴/۹۱	۰	۱۰۰
۷/۸۴	۴/۸۵	۴/۳۳	۵/۹۰	۴/۸۰	۱۰	۱۰۰
۰/۰۴۸	۰/۰۲۰	۰/۰۲۳	۰/۰۲۲	۰/۰۳۱		SEM
اثرات اصلی						
۷/۸۸	۴/۹۱	۴/۲۹	۵/۸۵	۴/۸۷	۰	سولفات روی
۷/۸۶	۴/۸۹	۴/۲۸	۵/۸۶	۴/۸۶	۱۰۰	
۷/۸۷	۴/۹۴ ^a	۴/۲۴ ^b	۵/۸۱ ^b	۴/۹۳ ^a	۰	اینولین
۷/۸۶	۴/۸۶ ^b	۴/۳۳ ^a	۵/۹۰ ^a	۴/۸۱ ^b	۱۰	
P-value						
۰/۶۱۲	۰/۳۴۵	۰/۷۲۷	۰/۸۵۴	۰/۵۷۹		سولفات روی
۰/۸۳۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱		اینولین
۰/۷۳۴	۰/۸۷۳	۰/۸۸۸	۰/۴۸۷	۰/۶۹۱		سولفات روی × اینولین

a-b حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌گر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

1. Clostridium spp. 2. Lactobacillus spp. 3. Bifidobacterium spp. 4. Coliform spp.

جدول ۵: اثرات مکمل‌های سولفات روی و اینولین بر پاسخ آنتی‌بادی اولیه و ثانویه علیه تست ایمنی SRBC در بلدرچین‌های تخم‌گذار

پاسخ ثانویه آنتی‌بادی			پاسخ اولیه آنتی‌بادی			تیمار	
ایمونوگلوبولین کل	ایمونوگلوبولین M	ایمونوگلوبولین G	ایمونوگلوبولین کل	ایمونوگلوبولین M	ایمونوگلوبولین G	اینولین (گرم/کیلوگرم)	سولفات روی (میلی گرم/کیلوگرم)
۵/۶۶	۲/۳۳	۳/۳۳	۴/۰۰	۱/۵۰	۲/۵۰	۰	۰
۵/۸۳	۲/۵۰	۳/۳۳	۴/۳۳	۱/۵۰	۲/۸۳	۱۰	۰
۶/۶۶	۲/۸۳	۳/۸۳	۵/۱۶	۱/۸۳	۳/۳۳	۰	۱۰۰
۷/۱۶	۳/۰۰	۴/۱۶	۵/۱۶	۲/۰۰	۳/۱۶	۱۰	۱۰۰
۰/۳۶۸	۰/۲۸۳	۰/۱۹۰	۰/۴۳۷	۰/۲۵۵	۰/۲۶۶		SEM
۵/۷۵ ^b	۲/۴۱	۳/۳۳ ^b	۴/۱۶ ^b	۱/۵۰	۲/۶۶ ^b	۰	اثرات اصلی سولفات روی
۶/۹۱ ^a	۲/۹۱	۴/۰۰ ^a	۵/۱۶ ^a	۱/۹۱	۳/۲۵ ^a	۱۰۰	
۶/۱۶	۲/۵۸	۳/۵۸	۴/۵۸	۱/۶۶	۲/۹۱	۰	اینولین
۶/۵۰	۲/۷۵	۳/۷۵	۴/۷۵	۱/۷۵	۳/۰۰	۱۰	
P-value							
۰/۰۰۴	۰/۰۹۳	۰/۰۰۲	۰/۰۳۳	۰/۱۱۸	۰/۰۴۰		سولفات روی
۰/۳۷۷	۰/۵۶۳	۰/۳۹۰	۰/۷۰۷	۰/۷۴۷	۰/۷۵۷		اینولین
۰/۶۵۶	۱/۰۰۰	۰/۳۹۰	۰/۷۰۷	۰/۷۴۷	۰/۳۵۸		سولفات روی × اینولین

a-b حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌گر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

جدول ۶: اثرات مکمل‌های سولفات روی و اینولین بر افزایش ضخامت پرده بین انگشت دوم و سوم بلدرچین‌های تخم‌گذار

افزایش ضخامت پرده بین انگشت دوم و سوم		تیمار	
افزایش ۲۴ ساعته	افزایش ۱۲ ساعته	اینولین (گرم/کیلوگرم)	سولفات روی (میلی گرم/کیلوگرم)
۰/۱۹۶	۰/۲۷۳	۰	۰
۰/۲۲۱	۰/۳۴۸	۱۰	۰
۰/۲۷۶	۰/۳۶۵	۰	۱۰۰
۰/۲۸۵	۰/۳۸۳	۱۰	۱۰۰
۰/۰۱۷	۰/۰۱۷		SEM
۰/۲۰۹ ^b	۰/۳۱۰ ^b	۰	اثرات اصلی سولفات روی
۰/۲۸۰ ^a	۰/۳۷۴ ^a	۱۰۰	
۰/۲۳۶	۰/۳۱۹ ^a	۰	اینولین
۰/۲۵۳	۰/۳۶۵ ^b	۱۰	
P-value			
۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱		سولفات روی
۰/۳۴۲	۰/۰۱۵		اینولین
۰/۶۳۲	۰/۱۲۲		سولفات روی × اینولین

a-b حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌گر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

جدول ۷: اثرات مکمل‌های سولفات روی و اینولین بر فراسنجه‌های خونی بلدرچین‌های تخم‌گذار

فراسنجه خونی						تیمار	
HDL	کلسترول	تری گلیسرید	اسید اوریک	آلبومین	پروتئین کل	اینولین (گرم/کیلوگرم)	روی (میلی گرم/کیلوگرم)
۴۳/۱۶	۱۷۰/۵۰	۳۱۵/۱۶	۴/۴۴	۱/۲۵	۲/۳۶	۰	۰
۴۷/۰۰	۱۵۳/۶۶	۳۱۱/۸۳	۴/۴۲	۱/۲۴	۴/۳۷	۱۰	۰
۴۴/۵۰	۱۶۰/۵۰	۳۱۵/۳۳	۴/۴۴	۱/۲۷	۴/۳۹	۰	۱۰۰
۴۷/۸۳	۱۵۱/۵۰	۳۱۰/۳۳	۴/۴۲	۱/۲۶	۴/۳۸	۱۰	۱۰۰
۱/۲۰	۴/۳۴	۳/۱۸	۰/۰۱۴	۰/۰۱۳	۰/۰۲۰		SEM
اثرات اصلی							
۴۵/۰۸	۱۶۲/۰۸	۳۱۳/۵۰	۴/۴۳	۱/۲۴	۴/۳۷	۰	سولفات روی
۴۶/۱۶	۱۵۶/۰۰	۳۱۲/۸۳	۴/۴۳	۱/۲۷	۴/۳۸	۱۰۰	
۴۳/۸۳ ^b	۱۶۵/۵۰ ^a	۳۱۵/۲۵	۴/۴۴	۱/۲۶	۴/۳۸	۰	اینولین
۴۷/۴۱ ^a	۱۵۲/۵۸ ^b	۳۱۱/۰۸	۴/۴۲	۱/۲۵	۴/۳۷	۱۰	
P-value							
۰/۳۷۷	۰/۱۷۶	۰/۸۳۶	۰/۸۶۵	۰/۰۸۵	۰/۴۱۵		سولفات روی
۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۲۰۶	۰/۲۰۱	۰/۵۸۱	۰/۹۳۴		اینولین
۰/۸۳۷	۰/۳۷۸	۰/۷۹۶	۰/۹۵۴	۰/۷۵۸	۰/۵۱۳		سولفات روی × اینولین

^{a-b} حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌گر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

بحث

نتایج این آزمایش راجع به اثرات مثبت سولفات روی مکمل شده بر پارامترهای عملکردی در تطابق با نتایج Abbasi و همکاران است که گزارش کردند مکمل‌سازی اکسید روی در سطوح ۲۵ تا ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم در جیره غذایی بلدرچین‌های تخم‌گذار منجر به بهبود پارامترهای عملکردی این پرندگان می‌گردد (۱۸). در تطابق با یافته‌های این آزمایش Sahin و Kucuk گزارش کردند که افزودن سولفات روی در سطوح ۳۰ و ۶۰ میلی گرم در کیلوگرم جیره منجر به بهبود تولید تخم، پارامترهای کیفی تخم و ضریب تبدیل خوراک در بلدرچین‌های تخم‌گذار دچار چالش با استرس گرمایی می‌گردد (۱۲). روی به‌طور موثر قابلیت دسترسی مواد خوراکی را در دستگاه گوارش از طریق شرکت در متابولیسم کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و چربی‌ها تحت تاثیر قرار می‌دهد. علاوه بر این روی نقش حفاظتی بر بافت پانکراس داشته و آن را از آسیب‌های احتمالی محافظت و باعث حفظ عملکرد نرمال آن جهت تولید آنزیم‌های گوارشی و بالاخره بهبود قابلیت هضم مواد غذایی می‌گردد که به نوبه خود پارامترهای عملکردی را بهبود می‌بخشد (۱۹). در تطابق با نتایج این آزمایش Abdelgader و همکاران گزارش کردند که افزودن اینولین به میزان ۱ گرم در کیلوگرم جیره پارامترهای عملکردی شامل تولید تخم، وزن تخم، توده تخم و ضریب تبدیل خوراک را در مرغ‌های تخم‌گذار بهبود می‌بخشد (۵). اینولین

دارای اثرات محرک بر فرآیندهای متابولیک و استحصال مواد مغذی می‌باشد. به‌طوری‌که به‌عنوان یک پری‌بیوتیک موثر باعث رشد و توسعه جمعیت میکروبی کوتاه زنجیر (SCFAs: Short Chain Fatty Acids) می‌گردد. هم‌چنین آنزیم‌های درون‌زای باکتریایی در دستگاه گوارش پرند و به دنبال آن محصولات نهایی حاصل از تخمیر را تحت تاثیر قرار داده و بدین‌وسیله موجب بهبود عملکرد تولید می‌گردد (۲۰). نتایج به‌خوبی نشان می‌دهد که استفاده توأم از هر دو مکمل‌های سولفات روی و اینولین دارای اثرات همگرا بر افزایش وزن پرندگان مورد آزمایش می‌باشد. در خصوص اثرات مثبت اینولین مکمل شده بر خصوصیات پوسته تخم نتایج مشابهی در تطابق با نتایج این آزمایش توسط Abdelgader و همکاران مبنی بر افزایش وزن تخم و ضخامت پوسته آن و هم‌چنین توسط Shang و همکاران مبنی بر افزایش ضخامت پوسته تخم در مرغ‌های تخم‌گذار به ترتیب با افزودن ۱ و ۱۰ تا ۲۰ گرم در کیلوگرم جیره غذایی به‌دست آمده است (۲، ۵). در رابطه با اثرات مثبت اینولین بر افزایش واحد هاو نتایج این آزمایش با یافته‌های Park و همکاران در تطابق می‌باشد که گزارش کردند افزودن اولیگو ساکاریدهای اینولین در سطوح ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم جیره غذایی مرغ‌های تخم‌گذار منجر به افزایش واحد هاو می‌گردد. پری‌بیوتیک‌هایی نظیر اینولین از طریق افزایش قابلیت دسترسی کلسیم در روده و هم‌چنین افزایش کلسیمی شدن استخوان منابع کافی جهت تشکیل پوسته و استحکام آن را فراهم می‌نمایند. اولیگوساکاریدهای

غیرقابل هضم اینولین توسط آنزیم‌های گوارشی در روده کوچک پرندگان هضم نمی‌شوند و توسط جمعیت میکروبی روده مورد تخمیر قرار گرفته تولید SCFAs نموده و متعاقباً PH روده کاهش می‌یابد. کاهش PH به نوبه خود منجر به حل شدن کلسیم و تبدیل آن به شکل یونی قابل جذب می‌گردد (۲۲). واحد هاو شاخصی از کیفیت سفیده به شمار می‌رود و هرچه مقدار آن بیش‌تر باشد بیانگر این است که تخم‌ها تازه‌تر و دارای آلبومین ضخیم‌تری هستند. گزارش شده است که افزودن پری‌بیوتیک‌هایی نظیر اینولین و مانان اولیگوساکاریدها از طریق افزایش قابلیت هضم پروتئین‌ها، چربی‌ها و خاکستر ضمن افزایش تولید تخم باعث افزایش کیفیت آلبومین نیز می‌گردند (۲۳). نتایج این آزمایش مبنی بر اثرات اینولین بر افزایش باکتری‌های مفید نظیر لاکتوباسیلوس‌ها و بیفیدوباکترها و کاهش باکتری‌های مضر شامل کلوستریدیوم‌ها و کولی‌فرم‌ها در روده کور پرندگان با نتایج Shang و همکاران، Park و Abdelgader، Park و همکاران و Xu و همکاران در تطابق می‌باشد (۲، ۵، ۲۱، ۲۴). باکتری‌های مفید موجود در روده و روده کور از قبیل لاکتوباسیل‌ها و بیفیدوباکترها از اینولین و اولیگوفروکتان‌ها به‌عنوان سوبسترای خود استفاده نموده و آن‌ها را به طور موثرتری نسبت به باکتری‌های دیگر تخمیر می‌نمایند. در نتیجه این فرآیندهای تخمیری منجر به تولید SCFAs می‌گردند و از طریق کاهش PH باعث بازدارندگی رشد و توسعه باکتری‌های بیماری‌زایی مثل کلوستریدیوم‌ها و کولی‌فرم‌ها می‌گردند. در میان SCFAs تولید شده در فرآیند تخمیر اینولین اسیداستیک، اسید پروپیونیک و اسید بوتیریک در حدود ۹۰ تا ۹۵ درصد آن‌ها را تشکیل می‌دهند به‌طوری که به‌عنوان منابع انرژی برای سلول‌های اپیتلیال روده عمل نموده، باعث رشد و بازسازی پرزهای روده، کاهش عمق کریپت و در نتیجه حداکثر راندمان جذبی مواد مغذی را فراهم می‌سازند. برآیند این فعل و انفعالات منجر به افزایش تولید تخم و پارامترهای کیفی تخم می‌گردد که به خوبی در این آزمایش مشهود است (۲۵). نتایج این آزمایش راجع به اثرات مثبت اینولین بر پاسخ ایمنی هومورال با نتایج Nabizadeh و هم‌چنین نتایج Park-SO و Park-BS مبنی بر افزایش تیتر آنتی‌بادی در جوجه‌های گوشتی در اثر مکمل‌سازی اینولین در تطابق می‌باشد (۷، ۲۱). ایمونوگلوبولین‌های G و M توسط سلول‌های B تولید شده و بیانگر ایمنی هومورال می‌باشند. اینولین نقش خود را در تحریک سلامت از طریق اثر تحریکی بر فرآیند فاگوسیتوز توسط سلول‌های فاگوسیتوزکننده و به‌دنبال آن تحریک سیستم ایمنی ایفا می‌نماید (۲۶). یافته‌های این آزمایش بیانگر نقش مثبت هر دو سولفات روی و اینولین بر پاسخ ایمنی سلولی از طریق افزایش ضخامت پرده بین انگشتان می‌باشد. گزارش شده است که اینولین اثرات مثبت خود بر ایمنی سلولی را از طریق افزایش جمعیت باکتری‌های لاکتوباسیلوس

و به‌دنبال آن تغییر پروفیل سیتوکین‌ها و هم‌چنین فعال‌سازی ماکروفاژ نشان می‌دهد. هم‌چنین اینولین علاوه بر تاثیر از طریق باکتری‌ها ممکن است اثرات تحریکی مستقیم نیز بر سلول‌های اپیتلیال روده و خود سلول‌های سیستم ایمنی نیز داشته باشد (۲۷). در تطابق با یافته‌های این آزمایش Dibaiee-nia و همکاران نیز اثرات مثبت روی بر بهبود پاسخ ایمنی سلولی در اثر مکمل‌سازی اکسیدروی در سطح ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در جیره جوجه‌های گوشتی را گزارش نموده‌اند (۲۸). گزارش شده است که کمبود روی منجر به تحلیل بافت‌های تیموس و طحال که نقش مهمی در پاسخ ایمنی سلولی دارند می‌گردد. از طرفی روی باعث فعال‌سازی هورمون تیمولین می‌گردد. تیمولین به نوبه خود باعث افزایش پاسخ ایمنی از طریق افزایش بلوغ لنفوسیت‌های T و هم‌چنین فعال‌سازی لنفوسیت‌های B از طریق لنفوسیت‌های T کمک‌کننده می‌گردد و نهایتاً باعث تقویت پاسخ ایمنی سلولی می‌گردد که در این آزمایش نیز مشهود است (۲۹، ۳۰، ۳۱). نتایج نشان داد که مکمل‌سازی اینولین دارای اثرات کاهشی بر سطوح کلسترول و افزایشی بر HDL سرم خون دارد. این یافته‌ها با نتایج Park و Park که گزارش کردند الیگوساکاریدهای کپسوله شده اینولین در سطوح ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره غذایی مرغ‌های تخم‌گذار باعث کاهش سطوح کلسترول و افزایش سطوح HDL سرم می‌گردد در تطابق می‌باشد (۲۱). گزارش شده است که SCFAs تولید شده به‌واسطه مکمل‌سازی اینولین از طریق اعمال اثرات بازدارندگی بر بیان ژن آنزیم‌های لیپیدساز منجر به کاهش سنتز اسیدهای چرب می‌گردد. هم‌چنین SCFAs تولید شده در اثر مکمل‌سازی اینولین باعث کاهش بیوسنتز کلسترول در کبد می‌شود. اسید پروپیونیک تولیدی نیز بر مسیر جذبی در روده بزرگ و تنظیم متابولیسم کربوهیدرات‌ها و لیپیدها تاثیر می‌گذارد. علاوه بر این مقداری از کلسترول خون توسط باکتری‌های لاکتوباسیلوس و بیفیدوباکتر در محصولات تخمیری برداشت می‌گردد. اینولین بازدارندگی بر سنتز کلسترول در کبد را از دو مسیر اعمال می‌کند: افزایش دفع اسیدهای صفراوی و بازدارندگی بر فعالیت آنزیم HMG-CoA ردوکتاز، آنزیمی که مرتبط با سنتز کلسترول می‌باشد (۲۱). به‌طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که مکمل‌سازی سولفات روی و اینولین به‌عنوان پری‌بیوتیک در جیره بلدرچین‌های تخم‌گذار بدون اعمال هرگونه اثرات منفی باعث بهبود صفات عملکرد تولید می‌گردد. مکمل‌سازی اینولین باعث افزایش کیفیت پوسته تخم و بهبود جمعیت باکتریایی روده کور گردید. اثرات مثبتی از هر دو اینولین و سولفات روی به‌ترتیب بر تقویت پاسخ ایمنی هومورال و سلولی مشاهده گردید. هم‌چنین نتایج بیانگر نقش موثر اینولین بر کاهش سطوح کلسترول خون بود.

منابع

- Poultry science. 80(8): 1073-1078. doi: 10.1093/ps/80.8.1073
17. **Institute, SAS. 2014.** SAS 9.4 Output delivery system: User's guide: SAS institute.
 18. **Abbasi, M., Dastar, B., Afzali, N., Shargh, M.S. and Hashemi, S., 2022.** The effects of nano and micro particle size of zinc oxide on performance, fertility, hatchability, and egg quality characteristics in laying Japanese quail. *Biological trace element research*. 200(5): 2338-2348. doi: 10.1007/s12011-021-02848-2
 19. **Sahin, K., Sahin, N., Kucuk, O., Hayirli, A. and Prasad, A., 2009.** Role of dietary zinc in heat-stressed poultry: A review. *Poultry Science*. 88(10): 2176-2183. doi: 10.3382/ps.2008-00560
 20. **Ahmed, W. and Rashid, S., 2019.** Functional and therapeutic potential of inulin: A comprehensive review. *Critical reviews in food science and nutrition*. 59(1): 1-13. doi: 10.1080/10408398.2017.1355775
 21. **Park, S.O. and Park, B.S., 2012.** Effect of feeding inulin oligosaccharides on cecum bacteria, egg quality and egg production in laying hens. *African Journal of Biotechnology*. 11(39): 9516-9521. doi: 10.5897/AJB12.5250
 22. **Świątkiewicz, S., Koreleski, J. and Arczewska, A., 2010.** Effect of organic acids and prebiotics on bone quality in laying hens fed diets with two levels of calcium and phosphorus. *Acta Veterinaria Brno*. 79(2): 185-193. doi: 10.2754/avb201079020185
 23. **Ghasemian, M. and Jahanian, R., 2016.** Dietary mannan-oligosaccharides supplementation could affect performance, immunocompetence, serum lipid metabolites, intestinal bacterial populations, and ileal nutrient digestibility in aged laying hens. *Animal Feed Science and Technology*. 213: 81-89. doi: 10.1016/j.anifeeds.2015.12.012
 24. **Xu, Z., Hu, C., Xia, M., Zhan, X. and Wang, M., 2003.** Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers. *Poultry Science*. 82(6): 1030-1036. doi: 10.1093/ps/82.6.1030
 25. **Duan, M., Sun, X., Ma, N., Liu, Y., Luo, T., Song, S. and Ai, C., 2019.** Polysaccharides from *Laminaria japonica* alleviated metabolic syndrome in BALB/c mice by normalizing the gut microbiota. *International journal of biological macromolecules*. 121: 996-1004. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.10.087
 26. **Abdel-Wahab, A., Elnesr, S.S. and Abdel-Kader, I., 2023.** Effect of dietary supplementation of Jerusalem Artichoke extract on performance, blood biochemistry, antioxidant parameters, and immune response of growing Japanese quail. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 107(3): 920-927. doi: 10.1111/jpn.13783
 27. **Wu, X., Wen, Z. and Hua, J., 2019.** Effects of dietary inclusion of *Lactobacillus* and inulin on growth performance, gut microbiota, nutrient utilization, and immune parameters in broilers. *Poultry Science*. 98(10): 4656-4663. doi: 10.3382/ps/pez166
 28. **Dibaiee-Nia, G., Akbari, M. and Karimi, S., 2017.** Effects of supplemental zinc in a wheat-based diet on performance, intestinal viscosity, immune system and lipid peroxidation of 21-day old broiler chickens. *Poultry Science Journal*. 5(1): 7-15. doi: 10.22069/psj.2017.11072.1189
 29. **Soni, N., Mishra, S.K., Swain, R., Das, A., Chichilichi, B. and Sethy, K., 2013.** Bioavailability and immunity response in broiler breeders on organically complexed zinc supplementation. *Food and Nutrition Sciences*. 4(12): 1293. doi: 10.4236/fns.2013.412166
 30. **Lotfi, Z., Borhani, S., Jamili, S. and Kadkhodaei, A., 2014.** Toxic effect of copper sulfate on gill and liver tissue of *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Animal Environment*. 5(4): 79-84. (In Persian)
 31. **Movahed, P., Oskoueian, E., Faseleh Jahromi, M., Shokryazdan, P., Salari Pour, M. and Ahmadi, M.R., 2022.** Evaluation of replacing inorganic zinc with organic zinc on growth performance, immune system, antioxidant status, morphology of jejunum, and tissue zinc retention in broilers. *Journal of Animal Environment*. 14(2): 131-138. (In Persian) doi: 10.22034/AEJ.2021.256119.2403
 1. **Costa, F.G.P., Nobre, I., Silva, L., Goulart, C., Figueiredo, D. and Rodrigues, V., 2008.** The use of prebiotic and organic minerals in rations for Japanese laying quail. *International Journal of Poultry Science*. 7(4): 339-343. doi: 10.3923/ijps.2008.339.343
 2. **Shang, H., Zhao, J., Dong, X., Guo, Y., Zhang, H., Cheng, J. and Zhou, H., 2020.** Inulin improves the egg production performance and affects the cecum microbiota of laying hens. *International journal of biological macromolecules*. 155: 1599-1609. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.11.137
 3. **Li, B., Schroyen, M., Leblois, J., Beckers, Y., Bindelle, J. and Everaert, N., 2019.** The use of inulin and wheat bran only during the starter period or during the entire rearing life of broilers: effects on growth performance, small intestinal maturation and cecal microbial colonization until slaughter age. *Poultry Science*. 98(9): 4058-4065. doi: 10.3382/ps/pez088
 4. **Gupta, N., Jangid, A. K., Pooja, D. and Kulhari, H., 2019.** Inulin: A novel and stretchy polysaccharide tool for biomedical and nutritional applications. *International journal of biological macromolecules*. 132: 852-863. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.03.188
 5. **Abdelqader, A., Al-Fataftah, A.R. and Daş, G., 2013.** Effects of dietary *Bacillus subtilis* & inulin supplementation on performance, eggshell quality, intestinal morphology and microflora composition of laying hens in the late phase of production. *Animal feed science and technology*. 179(1-4): 103-111. doi: 10.1016/j.anifeeds.2012.11.003
 6. **Shang, H., Hu, T., Lu, Y. and Wu, H., 2010.** Effects of inulin on performance, egg quality, gut microflora and serum and yolk cholesterol in laying hens. *British Poultry Science*. 51(6): 791-796. doi: 10.1080/00071668.2010.531005
 7. **Nabizadeh, A., 2012.** The effect of inulin inclusion in low phosphorus diets on some hematological, immunological parameters and broiler chickens performance. *Research Journal of Animal Sciences*. 6: 60-66.
 8. **Bai, S., Wu, A., Ding, X., Lei, Y., Bai, J., Zhang, K. and Chio, J., 2013.** Effects of probiotic-supplemented diets on growth performance and intestinal immune characteristics of broiler chickens. *Poultry Science*. 92(3): 663-670. doi: 10.3382/ps.2012-02813
 9. **Reda, F.M., El-Saadony, M.T., El-Rayes, T.K., Attia, A.I., El-Sayed, S.A., Ahmed, S.Y. and Alagawany, M., 2021.** Use of biological nano zinc as a feed additive in quail nutrition: biosynthesis, antimicrobial activity and its effect on growth, feed utilisation, blood metabolites and intestinal microbiota. *Italian Journal of Animal Science*. 20(1): 324-335. doi: 10.1080/1828051X.2021.1886001
 10. **Venubabu Thati, A., Roy, S., Prasad, M., Shivannavar, C. and Gaddad, S., 2010.** Nanostructured zinc oxide enhances the activity of antibiotics against *Staphylococcus aureus*. *J. Biosci. Technol.* 1: 64-69.
 11. **Council, NRC. 1994.** Nutrient requirements of poultry: 1994: National Academies Press.
 12. **Sahin, K. and Kucuk, O., 2003.** Zinc supplementation alleviates heat stress in laying Japanese quail. *The Journal of nutrition*. 133(9): 2808-2811. https://doi.org/10.1093/jn/133.9.2808
 13. **Kucuk, O., Kahraman, A., Kurt, I., Yildiz, N. and Onmaz, A., 2008.** A combination of zinc and pyridoxine supplementation to the diet of laying hens improves performance and egg quality. *Biological trace element research*. 126: 165-175. doi: 10.1007/s12011-008-8190-z
 14. **Hu, C., Qian, Z., Song, J., Luan, Z. and Zuo, A., 2013.** Effects of zinc oxide-montmorillonite hybrid on growth performance, intestinal structure, and function of broiler chicken. *Poultry Science*. 92(1): 143-150. doi: 10.3382/ps.2012-02250
 15. **Sari, M., Tilki, M. and Saatci, M., 2016.** Genetic parameters of egg quality traits in long-term pedigree recorded Japanese quail. *Poultry science*. 95(8): 1743-1749. doi: 10.3382/ps/pew118
 16. **Boa-Amponsem, K., Price, S., Dunnington, E. and Siegel, P., 2001.** Effect of route of inoculation on humoral immune response of White Leghorn chickens selected for high or low antibody response to sheep red blood cells.