

"Research Paper"

The Effect of Chromium Propionate and Alpha-Lipoic Acid Supplementation on Gene Expression of Cytokine Profile in the Spleen Tissue of Broilers

Hadis Mirzaei¹, Ali Aghaei², Elham Hoveizi³ and Mahmood Nazari⁴

1- Ph. D. student in Poultry nutrition, Department of Animal Science, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Animal Science, Faculty of Animal science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran, (Corresponding author email: aghaei@asnrukh.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

4- Associate Professor, Department of Animal Science, Faculty of Animal science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

Received: 9 December, 2022

Accepted: 28 October, 2023

Extended Abstract

Introduction and Objective: Alpha-lipoic acid (α -LA) synthesized enzymatically in the mitochondrion from octanoic acid. Endogenous levels of α - lipoic acid have been reported in the micro molar range. Alpha-lipoic acid can easily pass through biological membranes due to its high lipophilicity and is converted into dihydro lipoic acid (DHLA) in cells. Alpha-lipoic acid and DHLA have been described as an ideal antioxidant couple, due to their very high protection ability against oxidative stress through multiple pathways. Alpha-lipoic acid and DHLA have metal chelating activity, acts as a coenzyme in glucose metabolism, and can produce other antioxidants such as ascorbate, vitamin E, and glutathione (GST). Alpha-lipoic acid has anti-inflammatory properties and its supplementation to broiler diets improves the expression of inflammation-related genes in the spleen. On the other hand, trivalent chromium has been recognized as an essential trace element for humans and other animals, which is part of the glucose tolerance factor (GTF). Chromium is essential for the metabolism of carbohydrates, proteins and lipids. Chromium may be present in the diet in the form of inorganic compounds or organic complexes. After absorption, chromium circulates in a free state and binds to transferrin or other plasma proteins (protein β -globulin). Trivalent chromium seems to play a role in the structure and expression of genetic information in animals. Chromium binding to nucleic acids is stronger than other metal ions. Chromium protects RNA against thermal denaturation. It is also clear that chromium is concentrated in the cell nucleus. By binding to chromatin, chromium participates in gene expression and increases the start sites and thus increases RNA synthesis. This increase is due to the induction of protein bound to the nucleus and the activation of nuclear chromatin, as a result, chromium effects gene function. Chromium supplementation has shown a positive effect on immune response of broiler chickens. The aim of this research was to investigate the simultaneous effect of dietary chromium propionate and alpha-lipoic acid supplementation on the expression of cytokines interleukin 1, 2, 4, and 10, as well as IFN- γ , TNF, and TGF β 4 genes in the spleen tissue of broiler chickens.

Material and Methods: For this purpose, an experiment was performed with 144 Ross 308 broiler chicks in complete randomized design (CRD) with a 3 $\times$ 2 factorial arrangement of treatments including six treatments, 3 replicates and 8 chickens in each replicate. There were 6 dietary treatments: three doses of chromium propionate (0, 750 and 1500 μ g / kg) combined with two levels of alpha-lipoic acid (0 and 300 mg/kg) supplemented to the basal diets. At the end of the experimental period (42 days old), two chickens from each pen were randomly selected and killed. The sample was taken from the spleen and immediately frozen in liquid nitrogen and then stored at -80°C. The quantity and purity of the extracted RNA was checked using a Nanodrop device. In order to confirm the specific amplification of the desired genes in this study using primers, the PCR reaction was first performed. The expression of cytokine profile genes were quantified by quantitative real time PCR. In this way, 28S was used as a house-keeping gene to normalize the gene expression data. To analyze the obtained data, the method of difference in threshold degree changes ($\Delta\Delta$ CT) was used. The method of investigating gene expression changes in this research was the 2^{- $\Delta\Delta$ CT} method (comparative threshold) and the ratio of gene expression (28s).

Results: The results of electrophoresis confirmed the expression of genes in the spleen cells of broiler chickens and they appeared as one band on 2% agarose gel. Electrophoresis of polymerase chain reaction products showed fragments of 86, 51, 82, and 88bp for interleukin 1, 2, 4, and 10, respectively. No bands were formed on agarose gel for IFN- γ , TNF and TGF β 4 genes. The results showed that alpha-lipoic acid at the level of 300 mg/kg significantly decreased interleukin 1 gene expression than the control group (0 mg/kg). Also, supplementing the basal diet with the chromium propionate at the level of 1500 μ g/kg significantly increased interleukin 1 and 4 genes expression compared to the control group and the chromium propionate at the level of 750 μ g/kg. While the addition of alpha lipoic acid and chromium propionate had no effect on the expression of interleukin 2 and 10 genes.

Conclusion: Adding 300 mg/kg alpha lipoic acid to the diet can improve the immune response by reducing the expression of IL 1 gene in broilers. In addition, the addition of high amounts of chromium propionate (1500 μ g) leads to a decrease in immunity (by increasing the expression of IL 1 and 4 genes). While the addition of chromium propionate up to the level of 750 μ g/kg does not affect safety. Considering the results, it is recommended to add alpha lipoic acid at the level of 300 mg to the broiler diet. Addition of chromium propionate up to the level of 750 μ g is fine if it has beneficial effects on yield and production characteristics.

Keywords: Alpha-lipoic, Chromium, Gene expression, Immune response



"مقاله پژوهشی"

تأثیر مکمل‌های پروبیونات کروم و اسید آلفا لیپوئیک بر بیان نسبی ژن‌های درگیر در روند التهاب در بافت طحال جوجه گوشتی

حدیث میرزائی^۱، علی آقائی^۲، الهام حویزی^۳ و محمود نظری^۴

۱- دانشجوی دکتری تغذیه طیور، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

۲- استادیار گروه علوم دامی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران،
(noyabeh@asnruk.ac.ir)

۳- دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۴- دانشیار گروه علوم دامی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۶

صفحه ۵۷ تا ۶۵

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: اسید آلفا لیپوئیک (α -LA) به صورت آنزیمی در میتوکندری از اسید اکتانویک سنتز می‌شود. سطح درون‌زا α -LA در محدوده میکرومولار گزارش شده است. اسید آلفا لیپوئیک به دلیل خاصیت چربی دوستی بالا می‌تواند به راحتی از غشای‌های بیولوژیکی عبور کند و در سلول‌ها به اسید دی هیدرولیپوئیک (DHLA) تبدیل شود. اسید آلفا لیپوئیک و DHLA را به عنوان یک زوج آنتی اکسیدان ایده‌آل توصیف کرده‌اند، زیرا توانایی محافظت بسیار بالایی در برابر استرس اکسیداتیو از طریق مسیرهای متعدد دارند. اسید آلفا لیپوئیک و DHLA دارای فعالیت کلات کننده فلز هستند، به عنوان یک کوآنزیم در متابولیسم گلوکز عمل می‌کنند و می‌توانند آنتی اکسیدان‌های دیگر مانند اسکوربات، ویتامین E و گلوکاتینون (GST) تولید کنند. اسید آلفا لیپوئیک دارای خواص ضدالتهابی است و افزودن آن به جیره جوجه‌های گوشتی بیان نسبی ژن‌های مرتبط با التهاب را بهبود می‌بخشد. از طرف دیگر، کروم سه ظرفیتی یک عنصر کمیاب ضروری شناخته شده در انسان و سایر حیوانات می‌باشد که جز فاکتور تحمل گلوکز (GTF) است. کروم برای متابولیسم کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و لیپیدها ضروری است. کروم ممکن است در جیره به شکل ترکیبات معدنی یا کمپلکس‌های آلی وجود داشته باشد. پس از جذب، کروم در حالت آزاد گردش می‌کند و به ترانسفرین یا سایر پروتئین‌های پلاسما (پروتئین b-گلوبولین) متصل می‌شود. به نظر می‌رسد کروم سه ظرفیتی در ساختار و بیان اطلاعات ژنتیکی در حیوانات نقش داشته باشد. اتصال کروم به اسیدهای نوکلئیک قوی‌تر از سایر یون‌های فلزی است. کروم از RNA در برابر دناتوره شدن حرارتی محافظت می‌کند. همچنین واضح است که کروم در هسته سلولی متمرکز است. کروم با اتصال به کروماتین در بیان ژن شرکت می‌کند و باعث افزایش مکان‌های شروع و در نتیجه افزایش سنتز RNA می‌شود. این افزایش به دلیل القای پروتئین متصل به هسته و فعال شدن کروماتین هسته‌ای است در نتیجه کروم بر عملکرد ژن تأثیر می‌گذارد. مکمل کروم در جیره تأثیر مثبتی بر پاسخ ایمنی جوجه‌های گوشتی دارد. بنابراین در این تحقیق اثر مکمل‌های کروم و اسید آلفا لیپوئیک بر بیان ژن اینترلوکین ۱، ۲، ۴ و ۱۰، همچنین α -IFN- γ و TNF- α و TGF- β 4 بافت طحال جوجه گوشتی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: جهت انجام این آزمایش از ۱۴۴ قطعه جوجه گوشتی یک روزه سویه راس ۳۰۸ به صورت فاکتوریل (2×3) در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو سطح اسید آلفالیپوئیک (صفر و ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) و سه سطح پروبیونات کروم (صفر، ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم) با ۶ تیمار، ۳ تکرار و ۸ قطعه جوجه در هر تکرار استفاده شد. در پایان دوره آزمایش (۴۲ روزگی)، دو قطعه جوجه از هر پن به طور تصادفی انتخاب و کشتار شدند. نمونه از طحال گرفته شد و بلافاصله در نیتروژن مایع منجمد و سپس در ۸۰- درجه سانتی گراد ذخیره شد. بررسی کمیت و خلوص RNA استخراج شده با استفاده از دستگاه نانودراپ انجام شد. به منظور تأیید تکثیر اختصاصی ژن‌های موردنظر در این مطالعه با استفاده از آغازگرها، ابتدا واکنش PCR انجام شد. بیان نسبی ژن‌های اینترلوکین ۱، ۲، ۴ و ۱۰، همچنین α -IFN- γ و TNF- α و TGF- β 4 بافت طحال به روش واکنش زنجیره‌ای پلیمرز در زمان واقعی ارزیابی شد. در این روش 28S به عنوان ژن خانه دار جهت مقایسه نسبی داده‌ها استفاده شد. برای آنالیز داده‌های به دست آمده از روش اختلاف در تغییرات درجه استانه ($\Delta\Delta CT$) استفاده شد. روش بررسی تغییرات بیان ژن در این پژوهش روش $2^{-\Delta\Delta CT}$ (استانه مقایسه‌ای) و نسبت به بیان ژن ($s28$) بود.

یافته‌ها: نتایج الکتروفورز بیان ژن‌ها را در سلول‌های طحال مرغ‌های گوشتی تأیید کرد و به صورت یک باند روی ژل آغاز ۲ درصد ظاهر شدند. الکتروفورز محصولات واکنش زنجیره‌ای پلیمرز به ترتیب قطعات ۸۶، ۵۱، ۸۲ و ۸۸ جفت باز را برای اینترلوکین ۱، ۲، ۴ و ۱۰ نشان داد. برای ژن‌های α -IFN- γ و TNF- α و TGF- β 4 باندی بر روی ژل آغاز تشکیل نشد. نتایج نشان داد بیان ژن اینترلوکین ۱ در گروه دریافت کننده اسید آلفالیپوئیک (۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) نسبت به گروه شاهد به طور معنی داری کاهش یافته است. همچنین، بیان نسبی ژن‌های اینترلوکین ۱ و ۴ در گروه دریافت کننده سطح ۱۵۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم پروبیونات کروم نسبت به گروه شاهد و گروه دریافت کننده ۷۵۰ میکروگرم پروبیونات کروم به طور معنی داری افزایش یافت. در حالی که افزودن اسید آلفالیپوئیک و پروبیونات کروم تأثیری بر بیان ژن‌های اینترلوکین ۲ و ۱۰ نداشت.

نتیجه گیری: افزودن ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم اسید آلفالیپوئیک به جیره می‌تواند سبب بهبود پاسخ ایمنی ذاتی با کاهش بیان ژن اینترلوکین ۱ در جوجه‌های گوشتی گردد. به علاوه، افزودن مقادیر بالای پروبیونات کروم (۱۵۰۰ میکروگرم) منجر به کاهش ایمنی (با افزایش بیان ژن اینترلوکین ۱ و ۴) می‌گردد. در حالی که افزودن پروبیونات کروم تا سطح ۷۵۰ میکروگرم تأثیر بر ایمنی ندارد. با در نظر گرفتن نتایج، افزودن اسید آلفالیپوئیک در سطح ۳۰۰ میلی گرم به جیره جوجه‌های گوشتی توصیه می‌گردد. افزودن پروبیونات کروم تا سطح ۷۵۰ میکروگرم در صورتی که اثرات مفیدی بر عملکرد و خصوصیات تولیدی داشته باشد بلامانع است.

واژه‌های کلیدی: آلفالیپوئیک، بیان ژن، پاسخ ایمنی، کروم

مقدمه

قرار گرفتن در محیط زیست در معرض فلزات، آلودگی هوا، سموم دفع آفات و تشعشعات یونیزه در طول دوره پرورش قرار دارند. این عوامل برون‌زا می‌توانند باعث ایجاد گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر (ROS) در بدن شود. سلامت حیوانات با تعادل بین تولید ROS تولید شده توسط منابع درون‌زا و برون‌زا و با از بین بردن این گونه‌ها توسط مکانیسم‌های دفاعی

پرورش جوجه گوشتی با عوامل استرس‌زای مختلفی که بر وضعیت آنتی اکسیدانی و سیستم ایمنی جوجه‌های گوشتی تأثیر می‌گذارند، روبرو است که در نتیجه تولیدکنندگان متحمل ضرر اقتصادی می‌شوند (Nazari et al., 2003; Piva et al., 2020). طیور تحت تأثیر شرایط پرورش خود، از جمله

داخل بافت‌ها است. اسید آلفا لیپوئیک به دلیل چربی دوست بودن بالا می‌تواند به راحتی از غشای سلولی عبور کند و در سلول‌ها به اسید دی هیدرولیپوئیک (DHLA) تبدیل می‌شود (Wollin & Jones., 2003). علاوه بر این، اسید آلفالیپوئیک دارای خواص ضدالتهابی است و افزودن آن به جیره جوجه‌های گوشتی بیان ژن‌های مرتبط با التهاب طحال را بهبود می‌بخشد (Li et al., 2014). تزریق داخل صفاقی اسید آلفا لیپوئیک اثر ضدالتهابی نشان داده است (Guo et al., 2016). آزمایشات نشان داده که اسید آلفا لیپوئیک استرس اکسیداتیو و تغییرات ایمنی ناشی از آفاتوکسین را کاهش می‌دهد و پاسخ التهابی را حداقل تا حدی از طریق تغییر در بیان سایتوکین‌های التهابی طحال مانند TNF- α و IL6 (Guo et al., 2014; Li et al., 2014; Ma et al., 2015) از طرفی عناصر کمیاب نقش مهمی در هموستاز بدن انسان و حیوانات دارند. عنصر کروم یک عنصر کمیاب ضروری شناخته شده برای انسان و حیوانات می‌باشد. اثرات مفید کروم در سلامت انسان و حیوانات به دلیل نقش آن به عنوان یک جز جدایی ناپذیر از فاکتور تحمل گلوکز (GTF) گزارش شده است. مطالعات روی حیوانات نشان داده که کروم آلی (حدود ۰.۲۵٪ تا ۰.۳۰٪) نسبت به کروم غیر آلی (حدود ۰.۱٪ تا ۰.۳٪) با کارایی بیشتری جذب می‌شود (Piva et al., 2003). همچنین، در نتیجه مصرف مکمل کروم در جوجه‌های گوشتی (Zhang & Luo, 2006) و مرغ‌های تخم‌گذار بهبود در پاسخ ایمنولوژیک گزارش شده است (Zhang et al., 2018) و اثرات آن در هنگام استرس بارزتر به نظر می‌رسد. کروم از طریق تأثیر بر انتشار سایتوکین‌ها، پاسخ ایمنی را تعدیل می‌کند (Granchi et al., 1998). با این حال، نتایج بدست آمده تاکنون متناقض بوده و با هر آزمایش متفاوت است. تأثیر قلیل توجهی از مکمل کروم در بیان IFN- γ در بافت طحال جوجه گوشتی مشاهده شده که نقش آن را در تعدیل سیستم ایمنی نشان می‌دهد (Bhagat et al., 2008). این مطالعات در نهایت درک ما از نقش کروم در پاسخ‌های ایمنی مرغ را بهبود می‌بخشد و در طراحی اصلاحات مناسب جیره برای غلبه بر شرایط بیماری‌های خاص در طیور که تولید بهینه را مختل می‌کنند، کمک خواهد کرد. با توجه به اثرات آنتی‌اکسیدانی پروپیونات کروم و اسید آلفالیپوئیک می‌توان انتظار داشت که افزودن این‌ها به جیره غذایی بتواند سیستم ایمنی جوجه‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین، هدف از این پژوهش ارزیابی بیان نسبی ژن‌های مرتبط با ایمنی در بافت طحال جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با جیره‌های حاوی پروپیونات کروم و اسید آلفالیپوئیک بود.

مواد و روش‌ها

پرندگان و جیره‌های غذایی آزمایشی

این آزمایش با استفاده از ۱۴۴ قطعه جوجه گوشتی (مخلوط دو جنس) یک روزه سوپیه راس ۳۰۸ به صورت فاکتوریل (۲×۳) در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو سطح اسید آلفا لیپوئیک (صفر و ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) و سه سطح پروپیونات کروم (صفر، ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم) با

آنتی‌اکسیداتیو تعیین می‌شود (Frisard & Ravussin., 2006).

پاسخ‌های ایمنی به دو دسته هومورال (وابسته به تولید آنتی‌بادی) و سلولی (وابسته به سلول T) تقسیم می‌شوند (Chenani et al., 2021). یکی از سیگنال‌های فعال‌سازی پاسخ ایمنی هومورال، ترشح سایتوکین‌ها از سلول‌های ایمنی است. سایتوکین‌ها، گلیکوپروتئین‌هایی هستند که سبب فعال شدن، تکثیر و تمایز سلول‌های B می‌شوند (Fietta & Delsante., 2009). اگرچه سایتوکین‌ها توسط جمعیت‌های سلولی زیادی تولید می‌شوند، اما تولیدکنندگان اصلی آنها سلول‌های T کمک کننده و ماکروفاژها هستند (Tayal & Singh Kalra, 2007). بعضی سایتوکین‌ها به طور کلی فاکتورهای رشد لنفوسیتی هستند، بعضی دیگر به عنوان مولکول‌های پیش التهابی یا ضدالتهابی عمل می‌کنند، درحالی‌که دیگر سایتوکین‌ها پاسخ سامانه ایمنی به آنتی‌ژن را جهت‌دهی می‌کنند (Dinarelo., 2007).

شناسایی اولیه پپتیدهای مشتق از آنتی‌ژن به وسیله گیرنده‌های سلول‌های T انجام شده و سلول‌های T (Th) کمکی نقش مهمی در القا و تنظیم پاسخ ایمنی ایفا می‌کنند که به دو دسته Th1 و Th2 تقسیم می‌شوند. بیان متفاوت سایتوکین‌ها در بدن مشخص‌کننده نوع پاسخ ایمنی است، که خود این پاسخ متفاوت نقش مهمی در بیماری‌زایی دارد. اینترلوکین‌ها، سایتوکین‌هایی هستند که روابط بین لنفوسیت‌ها و سایر لکوسیت‌ها را تنظیم می‌کنند و با مولکول‌های بسیاری به صورت واسطه‌ای در مکانیسم‌های ایمنی مرتبط هستند. لذا، به محرک‌های انتخابی بسیاری از بیماری‌های عفونی پاسخ می‌دهند (Downing et al., 2010). تیموس که لندام اولیه لنفی است در عدم حضور هر تحریک‌کننده‌ای قادر به تولید انواع سایتوکین‌هاست (Peters et al., 2003).

تحقیقات نشان داده که بین اجزای جیره غذایی طیور با تولید و تولیدمثل (Sabahi et al., 2020; Mosavi et al., 2021; Nazari et al., 2022; Koohgivi et al., 2021) عملکرد سیستم ایمنی (Ramiro et al., 2005) ارتباط وجود دارد. تمرکز اصلی پژوهش حاضر، امکان تغییر سیستم ایمنی جوجه‌های سالم جهت بهبود سلامت از طریق تغذیه می‌باشد. به عنوان مثال، برخی از محققان گزارش کرده‌اند که خوراک‌های حاوی مواد مغذی خاص، به ویژه آن‌هایی که خواص آنتی‌اکسیدانی دارند، ممکن است باعث بهبود عملکرد سیستم ایمنی بدن شوند (Meydani et al., 1998; Piva et al., 2003).

اسید آلفا لیپوئیک یا اسید ۱,۲-dithiolane-3-pentanoic، یک ترکیب دیتیول طبیعی می‌باشد که به عنوان فاکتور اساسی برای بسیاری از آنزیم‌های متابولیسمی میتوکندری و در متابولیسم انرژی میتوکندری نقش دارد. اسید آلفا لیپوئیک در میتوکندری از اسید اکتانوئیک سنتز می‌شود اما ممکن است از منابع غذایی نیز جذب شود و به طور آهسته در بسیاری از بافت‌ها تجمع یابد (Mayr et al., 2014). اسید آلفالیپوئیک به سرعت جذب دستگاه گوارش شده و بلافاصله از پلاسما خارج شده، که منعکس‌کننده حمل و نقل سریع به

پروتکل شرکت به‌ترتیب انجام شد. بررسی کمیت و خلوص RNA استخراج شده با استفاده از دستگاه نانودراپ مدل (Thermo Scientific NanOdrOp. 2000. USA) انجام شد (نسبت جذب نوری ۲۶۰ به ۲۸۰ نانومتر نشان‌دهنده آلودگی‌های پروتئینی در محلول RNA استخراج شده هست که توسط دستگاه محاسبه گردید). جهت سنتز cDNA از کیت ساخت شرکت سینا کلون استفاده گردید. به‌منظور تأیید تکثیر اختصاصی ژن‌های موردنظر در این مطالعه با استفاده از آغازگرها، ابتدا واکنش PCR انجام شد. در صورت تأیید تکثیر ژن‌های موردنظر با استفاده از آغازگرهای طراحی شده به‌منظور بررسی مقایسه‌ای بیان نسبی ژن‌ها از تکنیک PCR در زمان حقیقی (Real time qPCR) استفاده شد. پرایمرهای مورد استفاده در این تحقیق از مطالعه لامرز و همکاران (Lammers *et al.*, 2010) بدست آمده بود. توالی و خصوصیات پرایمرها در جدول ۲ ارائه شده است.

از cDNA سنتز شده ۲ میکرولیتر به میکروتیوپ اول اضافه شد. به خوبی مخلوط گردید سپس از میکروتیوپ ۲،۱ میکرولیتر برداشته به میکروتیوپ ۲ اضافه گردید و این عمل تا میکروتیوپ شماره ۴ تکرار شد. میکروتیوپ‌های ۳،۲،۱ و ۴ نسبت به cDNA اولیه به‌ترتیب دارای رقت‌های ۴، ۲، ۱، ۰/۱۶ گردیدند.

برای آنالیز داده‌های به دست آمده از روش اختلاف در تغییرات درجه آستانه ($\Delta\Delta CT$) استفاده شد. روش بررسی تغییرات بیان ژن در این پژوهش روش $2^{-\Delta\Delta CT}$ (آستانه مقایسه‌ای) و نسبت به بیان ژن (28s) بود (Pfaffl *et al.*, 2002). ΔCT حاصل تفریق CT (حد آستانه) ژن مورد مطالعه در نمونه از کنترل است. آنالیز سطح بیان ژن با استفاده از آزمون تحلیل واریانس یک طرفه و سپس آزمون دانکن در سطح خطای ۵ درصد و ۱ درصد بررسی شد.

۶ تیمار، ۳ تکرار و ۸ قطعه جوجه در هر تکرار به مدت ۴۲ روز انجام شد.

در این آزمایش از قرص‌های ۳۰۰ میلی گرمی اسید آلفا لیپوئیک (شرکت داروسازی رها، ۹۹۰۰۲) و پروبیونات کروم (NuTech Biosciences Inc, New York, USA) با خلوص ۰/۴ درصد استفاده گردید.

تیمارهای آزمایشی شامل (۱) جیره شاهد بر پایه ذرت و کنجاله سویا، (۲) جیره شاهد همراه با ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم اسید آلفا لیپوئیک، (۳) جیره شاهد همراه با ۷۵۰ میکروگرم بر کیلوگرم پروبیونات کروم، (۴) جیره شاهد همراه با ۱۵۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم پروبیونات کروم، (۵) جیره شاهد همراه با ۷۵۰ میکروگرم بر کیلوگرم پروبیونات کروم و ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم اسید آلفا لیپوئیک و (۶) جیره شاهد همراه با ۱۵۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم پروبیونات کروم و ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم اسید آلفا لیپوئیک بودند. دوره‌های مختلف پرورش بر اساس استاندارد سویه راس شامل دوره آغازین (۰ تا ۱۰ روزگی)، دوره رشد (۱۱ تا ۲۴ روزگی) و دوره پایانی (۲۵ تا ۴۲ روزگی) بود. جیره‌ها مطابق کتابچه توصیه مواد مغذی (۲۰۱۹) سویه راس ۳۰۸ و با استفاده از نرم‌افزار WUFFDA تنظیم شد (جدول ۱). در طی دوره آزمایش، پرندگان به طور آزاد به آب و خوراک دسترسی داشتند. طول دوره روشنایی ۲۳ ساعت و یک ساعت تاریکی در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری بیان نسبی ژن

در پایان دوره آزمایش (۴۲ روزگی)، یک قطعه جوجه از هر تکرار به طور تصادفی انتخاب و کشتار شد. نمونه از طحال گرفته شد و بلافاصله در نیتروژن مایع منجمد و سپس در ۸۰- درجه سانتی‌گراد ذخیره شد. در این پژوهش، استخراج RNA با استفاده از کیت استخراج شرکت دنا زیست طبق

جدول ۱- ترکیب مواد خوراکی و مواد مغذی جیره‌های غذایی آزمایشی (بر حسب درصد)

Ingredients (%) (درصد)	مرحله آغازین (days 0-10)	مرحله رشد (days 11-24)	مرحله پایی (days 25-42)
Corn	53.00	55.95	60.50
Soybean meal	35.80	32.80	28.30
Corn gluten	3.28	2.80	2.25
Sunflower oil	3.17	4.14	4.91
shell	1.24	1.15	1.10
Dicalcium phosphate	1.80	1.60	1.45
Sodium Bicarbonate	0.22	0.22	0.22
Sodium chloride	0.24	0.24	0.25
Methionine	0.35	0.30	0.27
Lysine	0.27	0.20	0.18
Threonine	0.13	0.10	0.07
Vitamin premix ¹	0.25	0.25	0.25
Mineral premix ²	0.25	0.25	0.25
ترکیب شیمیایی جیره			
Metabolisable Energy (Kcal/Kg)	3000	3100	3200
Crude protein (%)	23.03	21.51	19.50
Calcium (%)	0.98	0.90	0.83
Available phosphorus (%)	0.48	0.44	0.40
Methionine + Cystine (%)	1.08	0.99	0.91
Methionine (%)	0.72	0.65	0.59
Lysine (%)	1.40	1.26	1.12

۱- مکمل ویتامینی در هر کیلوگرم جیره غذایی: رتینیل استات، ۱۰۰۰۰ واحد بین‌المللی؛ کوکلسیفرول، ۴۵۰۰ واحد بین‌المللی؛ α -توکوفرول استات، ۳۷/۵ واحد بین‌المللی؛ تیامین، ۱/۲۵ میلی گرم؛ نیاسین، ۳۹/۲۵ میلی گرم؛ فولیک اسید، ۰/۵ میلی گرم؛ اسید پانتوتیک، ۱۰ میلی گرم؛ ویتامین B₁₂، ۵ میلی گرم؛ نیکوتینامید، ۴/۶۳ میلی گرم؛ کوکالامین، ۳۷/۵ میلی گرم؛ کوکالامین، ۰/۲۵ میلی گرم.
 ۲- مکمل مواد معدنی در هر کیلوگرم جیره غذایی: کوکالامین، ۳۷/۵ میلی گرم؛ منگنز، ۱۱۲/۵ میلی گرم؛ روی، ۶۲/۵ میلی گرم؛ مس، ۱۲/۵ میلی گرم؛ سلنیوم، ۰/۳۱ میلی گرم؛ پید، ۱/۴ میلی گرم؛ آهن، ۳۲/۵ میلی گرم.
 1- Vitamin premix supplied the following per kilogram of diet: retinyl acetate, 10000 IU; cholecalciferol, 4500 IU; α -tocopheryl acetate, 37.5 IU; thiamine, 1.25 mg; niacin, 39.25 mg; folic acid, 0.5 mg; pantothenic acid, 10 mg; vitamin K, 5 mg; Nicotinamide, 4.63 mg; choline, 37.5 mg; cobalamin, 0.025 mg.
 2- mineral premix supplied the following per kilogram of diet: choline chloride 150 mg; Mn, 112.5 mg; Zn, 62.5 mg; Cu, 12.5 mg; Se, 0.31 mg; Iodine, 1.4 mg; and Fe mg.

جدول ۲- توالی و خصوصیات آغازگرهای رفت و برگشت استفاده شده در واکنش زنجیره‌ای پلیمراز
Table 2. The sequence and characteristics of the primer used in PCR reaction.

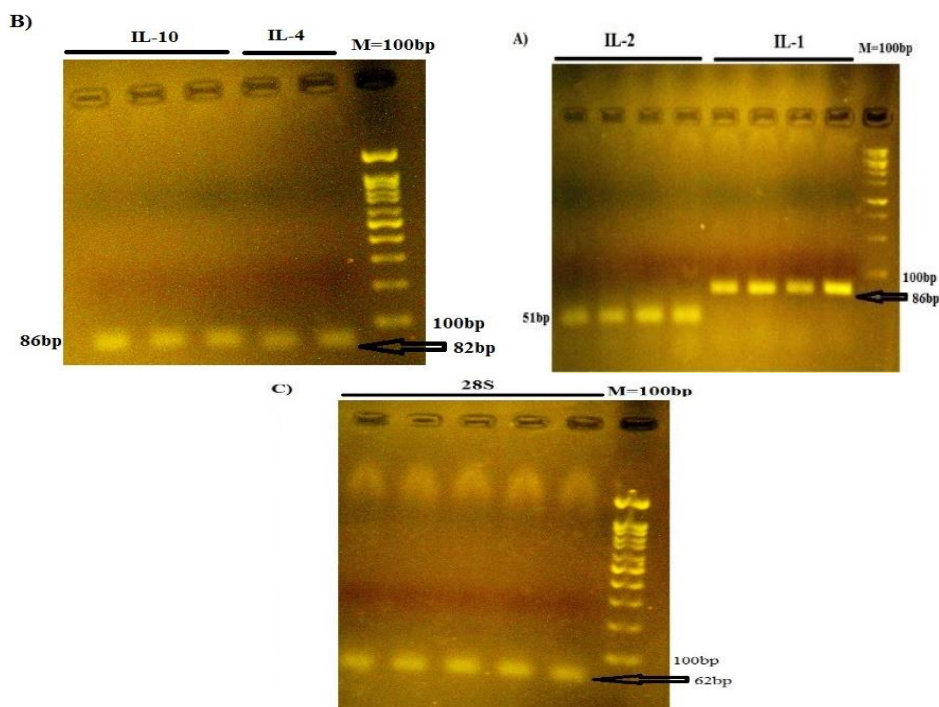
ژن	شماره دسترسی	توالی آغازگرها	طول محصول (جفت باز)
		Primers Sequence (5'-3')	Product length (bp)
IL-1	AJ245728	F: 5'- CAGCAGCCTCAGCGAAGAG-3' R: 5'- CTGTGGTGTGCTCAGAATCCA-3'	86
IL-2	AF033563	F: 5'- TTCAAAATATCGAAAAGAACCTCAAG-3' R: 5'- CGGTGTGATTTAGACCCGTAAGAC-3'	51
IL-4	AJ621249	F: 5'- GTGCCCACGCTGTGCTTAC-3' R: 5'- AGGAAACCTCTCCCTGGATGTC-3'	82
IL-10	AJ621614	F: 5'- CGCTGTCACGCTTCTTCA-3' R: 5'- TCCCGTTCTCATCCATCTTCTC-3'	85
IFN- γ	Y07922	F: 5'- GTGAAGAAGGTGAAAGATATCATGGA-3' R: 5'- GCTTTCGCTGGATTCTCA-3'	71
TNF- α	374125	F: 5'- AATTTGCAGGCTGTTTCTGC-3' R: 5'- TATGAAGGTGGTGCAGATGG-3'	112
TGF- β 4	M31160	F: 5'- ACCTCGACACCGACTACTGCTT-3' R: 5'- ATCCTTGCAGGAGTTCGATGT-3'	86
28S	DQ018756	F: 5'- GGCGAAGCCAGAGGAAACT-3' R: 5'- GACGACCGATTGACAGTC-3'	62

قطعات ۸۶، ۵۱، ۸۲، ۸۸ و ۶۲ جفت باز را برای اینترلوکین ۱، ۲، ۴ و ۱۰ و 28S نشان داد. برای ژنهای اینترفرون گاما، فاکتور نکروزه کننده تومور و TGF β 4 باندی بر روی ژل آگارز تشکیل نشد. پس از تأیید تکثیر قطعات مورد نظر، تکنیک qPCR در زمان واقعی جهت بررسی بیان ژنهای موردنظر اجرا گردید.

نتایج و بحث

تکثیر ژنهای سایتوکینیک

نتایج حاصل از الکتروفورز محصول PCR برای ژنهای اینترلوکین ۱، ۲، ۴ و ۱۰ و 28S در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج الکتروفورز بیان این ژنها را در سلولهای طحال مرغهای گوشتی تأیید کرد و به صورت یک باند روی ژل آگارز ۲ درصد ظاهر شدند. الکتروفورز محصولات PCR به ترتیب



شکل ۱- الکتروفورز محصولات واکنش زنجیره ای پلیمراز. A: ژن اینترلوکین ۱ و ۲؛ B: اینترلوکین ۴ و ۱۰؛ C: 28S روی ژل آگارز ۲ درصد. M: مارکر مولکولی ۱۰۰ bp

Fig 1. electrophoresis of PCR products for A) IL-1 and IL-2, B) IL-4 and IL-10, C) 28S on the 2% Agarose gel. M: size marker 100bp

آلفالپوئیک اسید بر بیان نسبی ژنهای مرتبط با ایمنی معنی‌دار بوده است. همانطور که نتایج نشان می‌دهند بیان ژنهای اینترلوکین ۱ در گروه دریافت‌کننده اسید آلفالپوئیک (۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) نسبت به گروه شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است ($p \leq 0.05$). در حالی که افزودن

اثر آلفالپوئیک اسید بر بیان نسبی ژنها

نتایج حاصل از تأثیر آلفالپوئیک اسید بر بیان نسبی ژنهای مرتبط با ایمنی بافت طحال جوجه‌های گوشتی در جدول ۳ ارائه شده است. اعداد داخل جدول براساس روش واحد اختیاری (Arbitrary unit) ارائه شده است (Rabieh *et al.*, 2020). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر

اسید آلفالیپوئیک تأثیری بر بیان نسبی ژن‌های اینترلوکین ۲، ۴ و ۱۰ ندارد. ارائه شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر پروپیونات کروم بر بیان نسبی ژن‌های مرتبط با ایمنی معنی‌دار بوده است ($p \leq 0.01$).

اثر پروپیونات کروم بر بیان نسبی ژن‌ها
نتایج حاصل از تأثیر پروپیونات کروم بر بیان نسبی ژن‌های مرتبط با ایمنی یافت طحال جوجه‌های گوشتی در جدول ۳

جدول ۳- تأثیر سطوح مختلف آلفالیپوئیک اسید و پروپیونات کروم بر بیان نسبی ژن‌های مرتبط با ایمنی در طحال جوجه‌های گوشتی
Table 3. The effect of different levels of alpha-lipoic acid and chromium propionate on the expression of immune-related genes in the spleen of broiler chickens.

اثرات اصلی (Main effects)	اینتروکین ۱ (IL1)	اینتروکین ۲ (IL-2)	اینتروکین ۴ (IL-4)	اینتروکین ۱۰ (IL-10)
آلفالیپوئیک اسید (میلی گرم)	2.17 ^a	0.90	1.74	0.88
0	1.34 ^b	1.23	1.61	0.95
300	0.22	0.18	0.13	0.10
خطای استاندارد میانگین	0.85 ^b	1.01	0.79 ^b	1.03
پروپیونات کروم	1.44 ^b	1.16	1.23 ^b	0.92
(میکروگرم/کیلوگرم)	2.97 ^a	1.03	3.01 ^a	0.80
1500	0.28	0.22	0.17	0.12
خطای استاندارد میانگین	0.39	0.32	0.24	0.17
Standard error of the mean (SEM)	1.55	1.01	1.10	1.06
تیمار ۱ (Treatment 1)	3.95	1.00	3.12	0.93
تیمار ۲ (Treatment 2)	0.71	0.72	0.59	0.71
تیمار ۳ (Treatment 3)	1.34	1.33	1.36	0.91
تیمار ۴ (Treatment 4)	1.98	1.35	2.89	0.88
تیمار ۵ (Treatment 5)	0.02	0.88	0.0001	0.44
تیمار ۶ (Treatment 6)	0.08	0.63	0.39	0.80
خطای استاندارد میانگین	0.0005	0.0005	0.0001	0.0005
Standard error of the mean (SEM)	0.0005	0.0005	0.0001	0.0005
اثرات متقابل (Interaction effects)	0.0005	0.0005	0.0001	0.0005
آلفالیپوئیک اسید	0.0005	0.0005	0.0001	0.0005
پروپیونات کروم	0.0005	0.0005	0.0001	0.0005
آلفالیپوئیک اسید × پروپیونات کروم	0.0005	0.0005	0.0001	0.0005
Alpha-lipoic acid × Chromium propionate	0.0005	0.0005	0.0001	0.0005

a-b: در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مختلف تفاوت آماری معنی‌داری دارند ($P \leq 0.05$).

a-b: Means with different alphabet in columns differ significantly ($p < 0.05$).

کند. در نتیجه بیان نسبی ژن اینترلوکین ۱ در گروه تغذیه شده به‌طور همزمان با ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم اسید آلفالیپوئیک و ۱۵۰۰ میکروگرم پروپیونات کروم با گروه شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت.

در مورد بیان ژن اینترلوکین ۴، افزودن ۱۵۰۰ میکروگرم پروپیونات کروم منجر به افزایش بیان این ژن شده است و افزودن ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم اسید آلفالیپوئیک هم نتوانسته است از این افزایش جلوگیری کند در نتیجه تفاوت معنی‌داری در بیان ژن اینترلوکین ۴ در تیمار (T6) تغذیه شده با ۱۵۰۰ میکروگرم پروپیونات کروم و ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم اسید آلفالیپوئیک با تیمار (T3) تغذیه شده با ۱۵۰۰ میکروگرم پروپیونات کروم مشاهده نشد.

بررسی‌ها نشان داده‌اند که وجود آنتی‌اکسیدان‌های مناسب در جیره جوجه‌ها می‌تواند پاسخ ایمنی را افزایش دهد (Kurutas et al., 2015). در مطالعه حاضر، طحال به‌عنوان یک لندام لنفوی ثانویه انتخاب شد، زیرا محل پاسخ‌های ایمنی ذاتی و تطبیقی است (Oláh & Vervelde., 2008). نقش مواد مغذی غذایی در تعدیل پاسخ ایمنی توجه زیادی را در تحقیقات حیوانی به‌خود جلب کرده است. نقش مواد مغذی مختلف جیره غذایی مانند ویتامین‌ها و مواد معدنی در تعدیل

همانطور که نتایج نشان می‌دهند بیان نسبی ژن‌های اینترلوکین ۱ و ۴ در گروه دریافت کننده سطح ۱۵۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم پروپیونات کروم (T3) نسبت به گروه شاهد (T1) و گروه دریافت کننده ۷۵۰ میکروگرم بر کیلوگرم پروپیونات کروم (T2) به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است ($P \leq 0.01$). سطوح بیان نسبی ژن‌های اینترلوکین ۲ و ۱۰ در گروه‌های دریافت کننده پروپیونات کروم مشابه گروه شاهد بود.

اثرات متقابل آلفالیپوئیک اسید و پروپیونات کروم

همانطور که در جدول ۳ آمده است تنها اثرات متقابل در ژن اینترلوکین ۱ معنی‌دار شده است و برای ژن‌های اینترلوکین ۲ و ۴ و ۱۰ معنی‌دار نشده است. بیشترین میزان بیان ژن اینترلوکین ۱ در گروه تغذیه شده با سطح ۱۵۰۰ میکروگرم پروپیونات کروم مشاهده شد. افزودن ۱۵۰۰ میکروگرم پروپیونات کروم منجر به افزایش بیان ژن اینترلوکین ۱ شده است. تفاوتی در بیان ژن اینترلوکین ۱ در سطح ۷۵۰ میکروگرم پروپیونات کروم با شاهد مشاهده نشد. در نتیجه افزودن ۷۵۰ میکروگرم پروپیونات کروم نتوانسته است بیان ژن اینترلوکین ۱ را تحت تأثیر قرار دهد. افزودن همزمان ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم اسید آلفالیپوئیک با ۱۵۰۰ میکروگرم پروپیونات کروم به جیره نتوانسته است اثرات کروم را خنثی

ایمنی از طریق تأثیر بر بیان سایتوکین‌ها مشخص می‌شود (Kidd., 2004).

نتایج الکتروفورز نشان داد که ژن‌های اینترفرون گاما (γ -IFN)، فاکتور نکروزه کننده تومور آلفا (α -TNF) و β 4 در طحال جوجه گوشتی استفاده در این آزمایش تحت جیره غذایی (آلفالیپوئیک اسید و پروپیونات کروم) و شرایط پرورشی بیان نمی‌شوند و حضور این ژن‌ها در بافت طحال مشخص نشد. نتایج این تحقیق با نتایج دیگر محققان همخوانی دارد (Nobakht & Muhaghegh Dolatabadi, 2018). محققین بیان نمودند به هنگام اضافه نمودن بلوط به جیره جوجه گوشتی بلندی برای γ -IFN بر روی ژل آگارز تشکیل نشد و ژن اینترفرون گاما تکثیر نشد. اینترفرون گاما سایتوکینی است که برای ایمنی ذاتی و تطبیقی در برابر برخی از عفونت‌های ویروسی، باکتریایی و تک یاخته‌ای ضروری است. اینترفرون گاما دارای خواص ضد ویروسی، تنظیم کننده ایمنی و ضد تومور است (Schroder et al., 2004). اینترفرون گاما در نتیجه تحریک میتوژن‌ها و پادگن‌ها ساخته می‌شود. بنابراین، سلول‌های طبیعی تا زمانی که برای سنتز اینترفرون گاما القاء نشده باشند، معمولاً این کار را انجام نمی‌دهند و عفونت‌های ویروسی یکی از عوامل قوی تولید اینترفرون‌ها هستند. با توجه به این که در این پژوهش جوجه‌ها تحت تأثیر چالش ایمنی قرار نداشتند و تیمارهای آزمایشی (آلفالیپوئیک اسید و پروپیونات کروم) نیز دارای ترکیبات میتوژنی نمی‌باشد، به نظر می‌رسد که این مواد نتوانند باعث تحریک بیان ژن اینترفرون گاما شوند. این موضوع را می‌توان به ژن‌های α -TNF و β -TGF هم متمم داد. این ژن‌ها در زمان حضور یک محرک بیماری را بیان می‌شوند. سایتوکین α -TNF با بودن عوامل میکروبی مثل لیپوپلی ساکاریدها، تولید شده و باعث می‌شود سلول‌های اندوتلیال عروق در محل عفونت، مولکول‌های چسبان مانند سلکتین‌ها را بیان کنند، بنابراین لکوسیت‌هایی مانند نوتروفیل‌ها و مونوسیت‌ها می‌توانند به سطح این عروق چسبیده و به محل عفونت وارد شوند. بنابراین نقش اصلی α -TNF ایجاد پاسخ‌های التهابی موضعی نسبت به میکروب‌ها می‌باشد (Pfeffer., 2003). فاکتور رشد تغییردهنده بتا (β -TGF) نیز یکی از پروتئین مهم در تنظیم فرایندهای التهابی است. اثرات محافظتی β -TGF در انواع مختلفی از واکنش‌های ایمنی بخصوص در مواردی که بافت خاصی درگیر می‌شود به اثبات رسیده است. افزایش بیان β -TGF اغلب با بدخیمی بسیاری از سرطان‌ها و نقص در پاسخ مهار رشد سلولی به β -TGF ارتباط دارد (Moses et al., 2016). طبق نتایج ارائه شده در جدول ۳ افزودن مکمل اسید آلفالیپوئیک در سطح ۳۰۰ میلی گرم سبب کاهش بیان ژن IL-1 شده است و این در حالی است که افزودن این مکمل تأثیری بر بیان ژن‌های IL-2، IL-4 و IL-10 نداشته است. مطابق با این نتایج، محققین نشان دادند که اسید آلفا لیپوئیک التهاب حاد را کاهش داده و به حرکت لیپیدها در طول پاسخ التهابی در بافت چربی سفید موش کمک می‌کند (Guo et al., 2016). مطالعات نشان داده که افزودن اسید آلفالیپوئیک سبب بهبود عملکرد، ظرفیت آنتی اکسیدانی و کنترل پاسخ

التهابی در جوجه‌های گوشتی می‌شود. اسید آلفالیپوئیک می‌تواند با مسدود کردن تولید و بیان سایتوکین‌ها دارای اثرات ضد التهابی باشد (Guo et al., 2014; Li et al., 2014; Ma et al., 2015). همچنین، مصرف جیره‌های حاوی ویتامین C، ویتامین E و اسید آلفالیپوئیک به طور قابل توجهی سطوح بیان ژن‌های IL-1 β ، IL-6، γ -IFN و α -TNF را در طحال جوجه‌های گوشتی ۲۱ روزه در مقایسه با گروه شاهد کاهش دادند (El-Senousey et al., 2018). علاوه بر این، پس از تزریق دگزامتازون، گروه دریافت کننده اسید آلفالیپوئیک بیشترین تأثیر را بر پاسخ ایمنی داشت زیرا به طور قابل توجهی سطوح بیان IL-1 β ، IL-6، γ -IFN و α -TNF را در مقایسه با سایر تیمارها کاهش داد، احتمالاً به دلیل توانایی اسید آلفالیپوئیک در بازگرداندن پروتئین‌های مرتبط با استرس و پاسخ‌های ایمنی باشد (Lu et al., 2017).

از مهمترین سایتوکین‌های پیش التهابی اصلی IL-1، IL-4 و α -TNF و غیره هستند. این سایتوکین‌ها به گیرندهای اختصاصی خود بر سطح سلول هدف متصل شده و به دنبال آن یک آبشار مولکولی درون سلولی رخ می‌دهد. این سایتوکین‌ها با تحریک یا ممانعت از فعالیت، تکثیر و یا تمایز سلول‌های مختلف و با تنظیم ترشح آنتی‌بادی‌ها یا سایر سایتوکین‌ها بر شدت و زمان پاسخ‌های ایمنی تأثیر می‌گذارند (Opal & DePalo., 2000). اینترلوکین ۴ فعالیت بیولوژیکی اساسی در توسعه التهاب آلرژیک به دلیل توانایی در تمایز T کمکی نوع TH0 به TH2 دارد. اینترلوکین ۴ یک اینترفرون پیش التهابی است که بیان eotaxin و سایر سایتوکین‌های التهابی را افزایش می‌دهد که ممکن است به التهاب کمک کند (Steinke & Larry, 2001). کاهش اینترفرون‌های پیش التهابی (IL-1 و IL-4) در این تحقیق به معنی جلوگیری از التهاب است. با کاهش این اینترفرون‌ها آبشار مولکولی درون سلولی هم تشکیل نخواهد شد یا کاهش می‌یابد و از اثرات بعدی جلوگیری به عمل خواهد آمد.

از جمله سایتوکین‌های ضدالتهابی می‌توان به IL-10 اشاره کرد که مهمترین سایتوکین ضدالتهابی در پاسخ ایمنی است. این مولکول روی سلول‌های Th1 اثر خود را اعمال می‌کند و از تولید سایتوکین‌های که توسط این سلول‌ها تولید می‌شوند مانند اینترفرون گاما و IL-2 جلوگیری می‌کند. از این ترکیب ضدالتهابی برای درمان بیماری‌های التهابی روده در آزمایشات بالینی استفاده شده است (Opal & DePalo., 2000). همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شد افزودن مکمل اسید آلفالیپوئیک بر بیان IL-2 و IL-10 نداشته است. طبق نتایج ارائه شده در جدول ۳ افزودن مکمل پروپیونات کروم در سطح ۱۵۰۰ میکروگرم سبب افزایش بیان ژن‌های IL-1 و IL-4 شده است و این در حالی است که افزودن مکمل‌های کروم تأثیری بر بیان ژن‌های IL-2 و IL-10 نداشته است. البته بایستی در نظر داشت افزودن مکمل پروپیونات کروم تا سطح ۷۵۰ میکروگرم تأثیری بر بیان ژن‌های IL-1 و IL-4 نداشته است. گزارش‌های مربوط به خوک، گاو و سایر گونه‌ها اثرات متفاوتی از کروم در پاسخ ایمنی را نشان می‌دهد. گزارش‌هایی مبنی بر سرکوب ایمنی

(Jain et al., 2007). اثر سرکوب کننده کروم بر نشانگرهای پیش التهابی ممکن است با غیرفعال کردن مسیرهای استرس اکسیداتیو و کاهش فسفوریلاسیون Akt مرتبط با آشکار مقاومت به انسولین در کبد تسهیل شود (Bartlett & Eperjesi, 2008).

نتیجه‌گیری کلی

افزودن ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم اسید آلفالیپوئیک به جیره می‌تواند سبب بهبود پاسخ ایمنی ذاتی با کاهش بیان ژن اینترلوکین ۱ در جوجه‌های گوشتی گردد. به علاوه، افزودن مقادیر بالای پروپینونات کروم (۱۵۰۰ میکروگرم) منجر به کاهش ایمنی (با افزایش بیان ژن اینترلوکین ۱ و ۴) می‌گردد. در حالی که افزودن پروپینونات کروم تا سطح ۷۵۰ میکروگرم تأثیر بر ایمنی ندارد. با در نظر گرفتن نتایج، افزودن اسید آلفالیپوئیک در سطح ۳۰۰ میلی گرم به جیره جوجه‌های گوشتی توصیه می‌گردد. افزودن پروپینونات کروم تا سطح ۷۵۰ میکروگرم در صورتی که اثرات مفیدی بر عملکرد و خصوصیات تولیدی داشته باشد بلامانع است.

(Khangarot et al., 1999) بعضی گزارش‌ها افزایش (Uyanik et al., 2002) و بعضی گزارش‌ها عدم تأثیر کروم بر ایمنی بدن ارائه شده است (Van de Ligt et al., 2002). تفاوت در گزارش‌های مختلف می‌تواند به دلیل تفاوت در شکل کروم، دوز مصرف و گونه حیوان باشد. مشخص شده که کروم نقش تنظیم کننده ایمنی در جوجه‌های گوشتی دارد زیرا بر بیان ژن IFN- γ در برابر واکسن بیماری نیوکاسل به روشی وابسته به دوز و مسیر تأثیر می‌گذارد. مکمل کروم در دوز و مسیر مناسب ممکن است یک رویکرد موثر در برابر واکسن بیماری نیوکاسل از طریق افزایش بیان IFN- γ یا ایمنی سلولی داشته باشد (Bhagat et al., 2008). یک بررسی نشان داد که مکمل کروم التهاب را کاهش داده و بیان ژن PPAR- γ ، GLUT-1، LDLR، IL-1 را بهبود بخشید. اگرچه بر بیان ژن‌های IL-8، TNF- α ، TGF- β و VEGF تأثیری نداشت (Amiri Siavashani et al., 2018). در مطالعه دیگری، مصرف کروم نیاسینات به مدت ۷ هفته باعث کاهش سطح سایتوکین‌های پیش التهابی (TNF- α ، IL-6 و CRP) و استرس اکسیداتیو در موش‌های صحرایی دیابتی شد

منابع

- Amiri Siavashani, M., Zadeh Modarres, S. Mirhosseini, N. Aghadavod, E. Salehpour, S. & Asemi, Z. (2018). The effects of chromium supplementation on gene expression of insulin, lipid, and inflammatory markers in infertile women with polycystic ovary syndrome candidate for in vitro fertilization: a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. *Frontiers in Endocrinology*, 9, 726.
- Bartlett, H. E. & Eperjesi, F. (2008). Nutritional supplementation for type 2 diabetes: a systematic review. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 28(6), 503-523.
- Bhagat, J., Ahmed, K. A. Tyagi, P. Saxena, M. & Saxena, V.K. (2008). Effects of supplemental chromium on interferon-gamma (IFN- γ) mRNA expression in response to Newcastle disease vaccine in broiler chicken. *Research in veterinary science*, 85(1), 46-51.
- Chenani, H., Nazari, M. Beigi Nassiri, M. T. & Roshanfekr, H. (2021). Exonic SNP in MHC-DMB2 is associated with gene expression and humoral immunity in Japanese quails. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 239, Article 110302.
- Dinareello, C. A. (2007). Historical insights into cytokines. *Eur. Journal of Immunology*, 37, S34-45.
- Downing, T., Lloyd, A. T. O'Farrelly, C. & Bradley, D.G. (2010). The differential evolutionary dynamics of avian cytokine and TLR gene classes. *The Journal of Immunology*, 184(12), 6993-7000.
- El-Senousey, H. K., Chen, B. Wang, J. Y. Atta, A. M. Mohamed, F. R. & Nie, Q. H. (2018). Effects of dietary vitamin C, vitamin E, and alpha-lipoic acid supplementation on the antioxidant defense system and immune-related gene expression in broilers exposed to oxidative stress by dexamethasone. *Poultry science*, 97(1), 30-38.
- Fietta, P. & Delsante, G. (2009). The effector T helper cell triade. *In Biology Forum/Rivista di Biologia*, 102, 1.
- Frisard, M. & Ravussin, E. (2006). Energy metabolism and oxidative stress. *Endocrine*, 29(1), 27-32.
- Granchi, D., Verri, E. Ciapetti, G. Savarino, L. Cenni, E. Gori, A. & Pizzoferrato, A. (1998). Effects of chromium extract on cytokine release by mononuclear cells. *Biomaterials*, 19(1-3), 283-291.
- Guo, J., Gao, S. Liu, Z. Zhao, R. & Yang, X. (2016). Alpha-lipoic acid alleviates acute inflammation and promotes lipid mobilization during the inflammatory response in white adipose tissue of mice. *Lipids*, 51(10), 1145-1152.
- Guo, Z. Y., Li, J. Zhang, L. Jiang, Y. Gao, F. & Zhou, G. H. (2014). Effects of alpha-lipoic acid supplementation in different stages on growth performance, antioxidant capacity and meat quality in broiler chickens. *British poultry science*, 55(5), 635-643.
- Jain, S. K., Rains, J. L. & Croad, J. L. (2007). Effect of chromium niacinate and chromium picolinate supplementation on lipid peroxidation, TNF- α , IL-6, CRP, glycated hemoglobin, triglycerides, and cholesterol levels in blood of streptozotocin-treated diabetic rats. *Free Radical Biology and Medicine*, 43(8), 1124-1131.
- Khangarot, B. S., Rathore, R. S. & Tripathi, D. M. (1999). Effects of chromium on humoral and cell-mediated immune responses and host resistance to disease in a freshwater catfish, *Saccobranchus fossilis* (Bloch). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 43(1), 11-20.
- Kidd, M. T. (2004). Nutritional modulation of immune function in broilers. *Poultry science*, 83(4), 650-657.
- Koohgivi, K., Rooshanfekr, H. Nazari, M. & Tatar, A. (2021). The effect of substitution to DL-methionine with L-methionine and dietary protein levels on Expression Myogenic Genes in Japanese quail. *Iranian Veterinary Journal*, 16(4), 64-73.
- Kurutas, E. B. (2015). The importance of antioxidants which play the role in cellular response against oxidative/nitrosative stress: current state. *Nutrition journal*, 15(1), 1-22.
- Lammers, A., Wieland, W.H. Kruijt, L. Jansma, A. Straetmans, T. Schots, A. den Hartog, G. & Parmentier, H.K. (2010). Successive immunoglobulin and cytokine expression in the small intestine of juvenile chicken. *Developmental and Comparative Immunology*, 34(12), 1254-62.

- Li, Y., Ma, Q. G., Zhao, L. H., Wei, H. Duan, G. X. Zhang, J. Y. & Ji, C. (2014). Effects of lipoic acid on immune function, the antioxidant defense system, and inflammation-related genes expression of broiler chickens fed aflatoxin contaminated diets. *International journal of molecular sciences*, 15(4), 5649-5662.
- Lu, M., Bai, J. Xu, B. Sun, Q. Wei, F. Tang, X. & Li, S. (2017). Effect of alpha-lipoic acid on relieving ammonia stress and hepatic proteomic analyses of broilers. *Poultry Science*, 96(1), 88-97.
- Ma, Q., Li, Y. Fan, Y. Zhao, L. Wei, H. Ji, C. & Zhang, J. (2015). Molecular mechanisms of lipoic acid protection against aflatoxin B1-induced liver oxidative damage and inflammatory responses in broilers. *Toxins*, 7(12), 5435-5447.
- Mayr, J. A., Feichtinger, R. G. Tort, F. Ribes, A. & Sperl, W. (2014). Lipoic acid biosynthesis defects. *Journal of inherited metabolic disease*, 37(4), 553-563.
- Meydani, S. N., Meydani, M. Blumberg, J. Leka, L. Pedrosa, M. Diamond, R. & Schaefer, E. (1998). Assessment of the safety of supplementation with different amounts of vitamin E in healthy older adults. *The American journal of clinical nutrition*, 68(2), 311-318.
- Moses, H. L., Roberts, A. & Derynck, R. (2016). The Discovery and Early Days of TGF- β : A Historical Perspective. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 8(7), a021865.
- Mosavi, S. T., Beigi Nassiri, M. T., Roshanfekr, H. R., Nazari, M. & ghorbani, M. R. G. (2022). The Effect of Vitex Agnuse Castus Fruits Powder on Oviduct Markers Gene Expression of Laying Hens. *Research on Animal Production*, 13(38), 138-146 (In Persian).
- Nazari, M., Ghorbani, M. R., Beigi Nassiri, M. T., Fathimoghdam, N., Sabahi, R. & Mosavi, S. T. (2023). The effects of Chaste-berry fruits on hypothalamic-pituitary-ovarian markers gene expression and immune response of laying hens: Phytoestrogens in Chaste-berry are ER β -selective. *Iranian Veterinary Journal*, 19(1), 61-71.
- Nazari, M., Salabi, F. & Radpoor, S. (2020). Investigation of heat shock protein 70 gene polymorphism in Khuzestan native chickens. *Agricultural Biotechnology Journal*, 12 (1), 81-100.
- Nobakht, E. & Muhaghegh Dolatabadi, M. (2018). Expression analysis of IFN - γ , IL -2 and IL -13 genes in Thymus tissue of broiler chickens fed with different levels of oak acorn. *Modern genetics Journal*, 13(2), 197-203 (In Persian).
- Oláh, I. & Vervelde, L. (2008). Structure of the avian lymphoid system. 13. *Avian Immunology*. Elsevier Academic Press Inc. pp: 13-50.
- Opal, S. M. & DePalo, V. A. (2000). Anti-Inflammatory Cytokines, impact of basic research on tomorrow's medicine. *Chest*, 117(4), 1162-1172.
- Peters, M. A., Browning, G.F. Washington, E. A. Crabb, B. S. & Kaiser, P. (2003). Embryonic age influences the capacity for cytokine induction in chicken thymocytes. *Immunology*, 110: 358-367.
- Pfaffl, M. W., Horgan, G. W. & Dempfle, L. (2002). Relative expression software tool (REST©) for group-wise comparison and statistical analysis of relative expression results in real-time PCR. *Nucleic Acids Research*, 30, 1-10.
- Pfeffer, K. (2003). Biological functions of tumor necrosis factor cytokines and their receptors. *Cytokine Growth Factor Rev*, 14(3-4), 185-91.
- Piva, A., Meola, E. Gatta, P. Biagi, G. Castellani, G. Mordenti, A. & Mordenti, A. (2003). The effect of dietary supplementation with trivalent chromium on production performance of laying hens and the chromium content in the yolk. *Animal Feed Science and Technology*, 106(1-4), 149-163.
- Rabieh, M., Rooshanfekr, H. Nazari, M. & Ghorbani, M. R. (2020). Gene expression of antioxidant enzymes fed wild pistachio (*Pistachio atlantica*), purslane (*Portulaca oleracea*) extract and vitamin E under in broiler chickens under heat stress condition. *Iranian Veterinary Journal*, 17(2), 51-60 (In Persian).
- Ramiro, E., Franch, A. Castellote, C. Andrés-Lacueva, C. Izquierdo-Pulido, M. & Castell, M. (2005). Effect of Theobroma cacao flavonoids on immune activation of a lymphoid cell line. *British Journal of Nutrition*, 93(6), 859-866.
- Sabahi, R., Nazari, M. Beigi Nassiri, M. T. & ghorbani, M.R. (2020). The effect of Vitex Agnuse Castus fruit powder on hypothalamic GnRH gene expression in laying hens. *Research on Animal Production*, 11 (30), 92-100 (In Persian).
- Schroder, K., Hertzog, P.J. Ravasi, T. & Hume, D. A. (2004). Interferon-gamma: an overview of signals, mechanisms and functions. *Journal of Leukocyte Biology*, 75(2), 163-189.
- Steinke, J.W. & Larry, B. (2001). Th2 cytokines and asthma—Interleukin-4: its role in the pathogenesis of asthma, and targeting it for asthma treatment with interleukin-4 receptor antagonists. *Respir Res*, 2(2), 66-70.
- Tayal, V. & Singh Kalra, B. (2007). Cytokines and anti-cytokines as therapeutics - An update. *European Journal of Pharmacology*, 579, 1-12.
- Uyanik, F., Atasever, A. Özdamar, S. & Aydin, F. (2002). Effects of dietary chromium chloride supplementation on performance, some serum parameters, and immune response in broilers. *Biological trace element research*, 90(1), 99-115.
- Van de Ligt, J. L. G., Lindemann, M D. Harmon, R. J. Monegue, H. J. & Cromwell, G. L. (2002). Effect of chromium tripicolinate supplementation on porcine immune response during the postweaning period. *Journal of animal science*, 80(2), 449-455.
- Wollin, S. D. & Jones, P. J. (2003). Alpha-Lipoic acid and cardiovascular disease. *The Journal of nutrition*, 133(11), 3327-3330.
- Zhang, Q. & Luo, X. (2006). Effect of dietary chromium on growth performance, immune functions and carcass quality of broilers. *Chinese Journal of Animal Science*, 42(9), 19.
- Zhang, S., Sun, X. Liao, X. Lu, L. Zhang, L. Ma, Q. & Luo, X. (2018). Dietary supplementation with chromium picolinate influences serum glucose and immune response of brown-egg laying hens. *Biological Trace Element Research*, 185(2), 448-455.