

Evaluation of the source and level of digestible methionine + cysteine in diet on productive performance, egg composition and blood metabolites in Shaver White laying hens aged 34 to 46 weeks

Saeed Ghavi, Ahmad Hassanabadi* and Heydar Zarghi

PhD student, Associate Professor and Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.

*Corresponding author's Email: hassanabadi@um.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/ijasr.2024.88441.1203>

Introduction Sulfur-containing amino acids, including methionine and cystine, are functional amino acids that affect protein structure, and metabolism (Zhang et al., 2024). Methionine irreversibly converts into cystine through the trans-sulfuration pathway. Therefore, the requirements for methionine alone and methionine + cystine (Met+Cys) are considered together, known as total sulfur-containing amino acids (Castro et al., 2019). Commercial poultry feed is usually supplemented with solid DL-methionine with 99% purity or liquid methionine hydroxy analogue (MHA) with 88% active ingredient content (Bateman et al., 2005). Birds can utilize methionine isomers and analogs for protein synthesis (Sahebi-Ala et al., 2021). The form of amino acids used in animal tissues is the L isomer, and the D isomer has no biological activity. However, in the case of methionine, birds can utilize both isomers (Kalbande et al., 2009). Before being used by animals, DL-methionine must be converted to L-methionine in the liver or kidney through a two-step reaction (Teng et al., 2023). Considering the role and importance of methionine in laying hens, this experiment aimed to compare two sources of DL-methionine with liquid MHA and investigate the effect of the level of digestible Met+Cys in the diet on the production performance indices, egg chemical composition and blood serum metabolites.

Materials and Methods A total of 324 Shaver White laying hens was used as a 2×3 factorial arrangement in a randomized complete block design with 6 treatments, 6 replicates and 9 birds each, in the age of 34-46 wk. The treatments included three levels of digestible Met+Cys, namely 0.555% (25% less than recommendation), 0.742% (equal to the recommendation) and 0.929% (25% more than the recommendation) in diet from two sources of MHA (equivalent to 88% of methionine) and DL-methionine. All birds had free access to drinking water and feed during the experiment. The lighting program was performed as 16 h of lighting and 8 h of blackout. The experimental period included the first two wk (32-34 wk old) for the period of adaptation to the place and conditions of the experiment, where the birds were fed with the same ration and in the age period of 34 to 46 wk, the birds were fed with experimental diets and record taking was done in this period. The supplements required for this experiment including DL-Methionine (white crystalline powder with 99% methionine content and 58.1% crude protein) and MHA (liquid with 88% methionine content) and the equivalent of zero crude protein) were prepared from Evonik Degussa and Adiseo France, respectively. Experimental corn-soybean meal diets were formulated with UFFDA software based on recommendations for Shaver White laying hen management guide (2020). During the experiment, the amount of egg production in each replicate was recorded on a daily basis (number and weight) and the average egg laying

percentage and mass production of eggs (g/hen/d) were calculated during the experiment. Average egg weight was calculated by dividing the total weight of eggs by the number of eggs per day in each replicate. The feed conversion ratio in each replicate was calculated by dividing the feed consumed by the egg mass. To check body weight changes, the birds of each experimental unit were weighed in groups at the beginning and end of the experiment. To determine the chemical composition of eggs, white and yolk were separated and after weighing, they were placed in an oven at a temperature of 75 °C for 72 h. Then the percentage of dry matter (DM) of white, yolk and whole egg (without shell) was calculated. For the measurement of crude protein and fat, yolk and white DM were used. Crude protein percentage of yolk and egg white was measured using Kjeldahl method and fat percentage of yolk was also measured using Soxhlet method and diethyl ether solvent. The percentage of crude protein and fat of white, yolk and whole egg (without shell) was calculated and reported according to their dry matter (AOAC, 2019). At the end of the experiment sera samples were obtained from one bird in each replicate and the level of blood metabolites including cholesterol, triglycerides, low density lipoproteins (LDL), high density lipoproteins (HDL), albumin, total protein, creatinine and uric acid were measured by using Pars Azmoon biochemical kits and auto analyzer (Model, BT3000).

Results The birds fed with diets containing two levels of digestible Met+Cys equaled or exceeded the recommendation had higher eggs production compared to the lower than recommended level ($P < 0.05$), and with the increase in the digestible Met+Cys level, the daily egg mass, the egg weight and feed intake were increased and the feed conversion ratio was decreased. The levels of triglyceride and creatinine in the blood serum in lower or equaled Met+Cys levels were higher than the recommended level and blood albumin in high Met+Cys level was less than the recommended level. Diet digestible Met+Cys level did not have any significant effect on changes in body weight, and measured blood serum metabolites. The effect of methionine source and the interaction effect of level with methionine source were not significant on any of the studied indicators. The results of this study showed that a higher than recommended level of methionine in the diet can increase the size of eggs and egg mass and improves the feed conversion ratio, and also MHA without reducing yield can be a suitable substitute for DL-methionine in the diet of laying hens.

Conclusion The results of this experiment showed that the concentration of methionine+cystine in the diet of Shaver White laying hens 25% higher than the recommended level for the strain, increases the egg size and egg mass and improves the feed conversion ratio. Also, no significant difference was observed between two sources of methionine (DL-methionine and liquid methionine hydroxy analogue) on production performance, chemical composition of eggs and blood metabolites of laying hens. Therefore, the use of methionine hydroxy analogue, taking into account the methionine content of 88%, can be a suitable substitute for DL-methionine in the diet of laying hens without negatively affecting the productive performance indices and the chemical composition of the eggs.

Key words: DL-methionine, methionine hydroxy analogue, performance, laying hen

اثر منبع و غلظت متیونین+سیستین قابل هضم جیره بر عملکرد تولیدی، ترکیبات تخم مرغ و متابولیت-های سرم خون مرغ‌های تخم‌گذار شیور سفید در سن ۳۴ تا ۴۶ هفتگی

سعید قوی^۱، احمد حسن آبادی^{۲*}، حیدر زرقی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۱

به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد تغذیه طیور، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

* نویسنده مسئول: Email:hassanabadi@um.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/ijasr.2024.88441.1203>

چکیده

به منظور مقایسه دی‌ال-متیونین با هیدروکسی‌آنالوگ متیونین مایع و بررسی اثر غلظت متیونین+سیستین قابل هضم جیره بر شاخص‌های عملکرد تولیدی، ترکیبات تخم مرغ و متابولیت‌های خون، آزمایشی با استفاده از ۳۲۴ قطعه مرغ تخم‌گذار سویه شیور سفید به صورت آزمایش فاکتوریل ۲×۳ در قالب بلوک کامل تصادفی با ۶ تیمار، ۶ تکرار و ۹ قطعه پرند در هر تکرار در سن ۳۴ تا ۴۶ هفتگی انجام شد. تیمارها شامل افزودن سه غلظت دی‌ال-متیونین و سه غلظت هیدروکسی‌آنالوگ متیونین (معادل ۸۸ درصد متیونین) به جیره پایه بودند؛ به طوری که سه غلظت متیونین+سیستین قابل هضم ۰/۵۵۵ (۲۵٪) کمتر از توصیه، ۰/۷۴۲ (برابر با توصیه) و ۰/۹۲۹ (۲۵٪ بیشتر از توصیه) از دو منبع متیونین تهیه شد. نتایج نشان داد که مرغ‌های تغذیه شده با دو غلظت متیونین+سیستین برابر و بیشتر از توصیه، تولید تخم مرغ بالاتری در مقایسه با غلظت کمتر از توصیه داشتند و با افزایش غلظت متیونین+سیستین قابل هضم جیره، گرم تخم مرغ تولیدی روزانه، وزن تخم مرغ و مصرف خوراک افزایش و ضریب تبدیل خوراک کاهش یافت. منبع متیونین، غلظت متیونین+سیستین جیره و اثرات متقابل آنها تاثیر معنی‌داری بر ترکیبات شیمیایی سفیده، زرده و تخم مرغ مایع شامل درصد ماده خشک، پروتئین خام و چربی نداشتند. غلظت تری‌گلیسیرید و کراتینین خون به ترتیب در غلظت کمتر از توصیه و برابر با توصیه بیشتر از دو غلظت دیگر بود و آلبومین خون در غلظت بیشتر از توصیه کمتر از غلظت توصیه بود. منبع متیونین و اثر متقابل غلظت با منبع بر هیچ کدام از شاخص‌های مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری نداشت. به طور کلی، متیونین جیره در سطح ۲۵ درصد بیشتر از توصیه سویه، اندازه تخم مرغ و گرم تخم مرغ تولیدی روزانه را افزایش و ضریب تبدیل خوراک را بهبود بخشید. هیدروکسی‌آنالوگ متیونین می‌تواند جایگزین مناسبی برای دی‌ال-متیونین در جیره مرغ‌های تخم‌گذار باشد.

واژه‌های کلیدی: دی‌ال-متیونین، هیدروکسی‌آنالوگ متیونین، عملکرد، مرغ تخم‌گذار

مقدمه

اسیدهای آمینه گوگرددار شامل متیونین و سیستین، اسیدهای آمینه عملکردی هستند که بر ساختار پروتئین، متابولیسم و وضعیت تنش اکسیداتیو تأثیر می‌گذارند (Zhang et al., 2024). متیونین از طریق مسیر ترانس سولفوراسیون به‌طور برگشت ناپذیر به سیستین تبدیل می‌شود، بنابراین کمبود سیستین جبران خواهد شد ولی کمبود متیونین فقط با متیونین تأمین می‌شود پس مکمل کردن جیره با متیونین نیاز هر دو اسیدآمینه را برطرف خواهد کرد. بنابراین احتیاج متیونین، به تنهایی و متیونین+سیستین، با هم در نظر گرفته می‌شود که به‌عنوان اسیدهای آمینه گوگرددار کل شناخته می‌شوند (Castro et al., 2019). اسیدهای آمینه گوگرددار نقش‌های مختلفی را در متابولیسم بدن به‌عنوان دهنده گروه متیل و سولفور ایفا می‌کنند و در سنتز پروتئین، پلی‌آمین، گلوکاتیون، کارنیتین و تائورین شرکت می‌کنند (Stipanuk, 2004).

متیونین اولین اسیدآمینه محدودکننده در مرغ‌های تخم‌گذار تغذیه شده با جیره‌های بر پایه ذرت و کنجاله سویا است (Yuan et al., 2023). تعداد زیادی از مطالعات نشان دادند که کمبود متیونین اثرات نامطلوبی بر عملکرد رشد، متابولیسم اسیدهای آمینه و رشد روده مرغ‌های تخم‌گذار دارد و کمبود این اسید آمینه ممکن است بر نرخ رشد نیمچه‌ها در طول دوره رشد تأثیر منفی داشته باشد (Liu et al., 2022). متیونین به‌عنوان یک اسیدآمینه ضروری در سنتز پروتئین، دهنده گروه متیل جهت متابولیسم طبیعی سلول‌ها و تشکیل کوآنزیم S-آدنوزیل متیونین، پیش‌ساز واسطه‌ای مهم در مسیرهای متابولیسمی از قبیل سیستین و کارنیتین، شرکت در سنتز پلی‌آمین و دهنده گروه گوگرد در بدن طیور نقش ایفا می‌کند (Bunchasak, 2009). متیونین یک گروه متیل را توسط S-آدنوزیل متیونین برای سنتز اپی‌نفرین، کارنیتین، کولین و کراتین فراهم می‌کند (Ghavi et al., 2020). متیونین در سنتز گلوکاتیون، که نقش مهمی در حفظ تعادل واکنش‌های ردوکس دارد، مشارکت می‌کند (Yuan et al., 2023).

جیره طیور تجاری به‌طور معمول با دی‌ال-متیونین جامد با خلوص ۹۹ درصد یا هیدروکسی‌آنالوگ متیونین مایع با محتوای ۸۸ درصد ماده فعال مکمل می‌شود (Bateman et al., 2005). پرنده‌ها می‌توانند از ایزومرها و آنالوگ‌های متیونین برای سنتز پروتئین استفاده کنند (Sahebi-Ala et al., 2021). شکل اسیدهای آمینه به‌کار رفته در بافت‌های حیوانی ایزومر ال بوده و ایزومر دی فعالیت بیولوژیکی ندارد. در این مورد اسیدآمینه متیونین مستثنی است و پرنده قادر به استفاده از هر دو ایزومر می‌باشد (Kalbande et al., 2009). دی-متیونین قبل از اینکه توسط حیوانات مورد استفاده قرارگیرد باید در کبد یا کلیه طی یک واکنش دو مرحله‌ای به فرم ال-متیونین تبدیل شود (Teng et al., 2023). اکثر اسیدهای آمینه ضروری می‌توانند توسط آلفا کتواسیدهای مربوطه جایگزین گردند که به عنوان آنالوگ آنها نامیده می‌شوند. آلفا کتو اسید، با انتقال عامل آمین به اسید آمینه فعال تبدیل می‌شود. جنبه غیر معمول آنالوگ‌های اسیدآمینه این است که به دلیل نبودن نیتروژن در ساختمان آنها، معادل پروتئینی آنها صفر است، هر چند که استفاده از آنالوگ سایر اسیدهای آمینه اقتصادی نمی‌باشد اما آنالوگ هیدروکسی متیونین به‌طور متداول به‌عنوان جایگزین دی‌ال-متیونین استفاده می‌شود (Lesson and Summers, 2001). هیدروکسی‌آنالوگ متیونین برای شرکت در سنتز پروتئین، تبدیل شدن به اسید آمینه سیستین، شرکت در واکنش‌های ترانس آمیناسیون و انجام وظیفه متیل دهنده‌گی باید به فرم ال-متیونین تبدیل گردد. در واکنش تبدیل دی-متیونین به ال-متیونین آمونیاک تولید شده اما در واکنش تبدیل هیدروکسی‌آنالوگ متیونین به ال-متیونین، آب تولید می‌شود (Dibner et al., 2004). هیدروکسی‌آنالوگ متیونین ترکیب شیمیایی متفاوتی نسبت به دی‌ال-متیونین دارد، در اتم کربن نامتقارن آن یک

گروه هیدروکسیل وجود دارد در حالی که دی‌ال-متیونین دارای یک گروه آمینه است (Zarghi and Ghavi, 2024). این دو منبع متیونین از نظر جذب سلولی، انتقال و متابولیسم متفاوت بوده و هر دو از پیش‌سازهای کارآمد ال-متیونین هستند. هیدروکسی‌آنالوگ متیونین عمدتاً توسط ناقل مونوکرپوکسیلات ۱ با فعالیت مبادله‌گر سدیم و هیدروژن جذب می‌شود، در حالی که جذب دی‌ال-متیونین از طریق سیستم‌های انتقال‌دهنده واسط انجام می‌شود. هیدروکسی‌آنالوگ متیونین در طول دستگاه گوارش، به‌ویژه دستگاه گوارش فوقانی جذب می‌شود. روده، کبد و کلیه می‌توانند دی-متیونین و هیدروکسی‌آنالوگ متیونین را از گردش خون گرفته و از طریق اکسیداسیون و ترانس‌آمیناسیون به ال-متیونین متابولیزه کنند (Zhang et al., 2015). با توجه به نقش و اهمیت متیونین در تغذیه مرغ‌های تخم‌گذار و استفاده از دو منبع رایج متیونین، با وجود اختلاف نظرهایی که در مورد اثربخشی هیدروکسی‌آنالوگ متیونین مایع نسبت به دی‌ال-متیونین وجود دارد، این آزمایش با هدف مقایسه این دو منبع و بررسی اثر غلظت متیونین+سیستین قابل‌هضم در جیره بر شاخص‌های عملکرد تولیدی، ترکیبات تخم‌مرغ و متابولیت‌های سرم خون و برآورده کردن نیازهای متیونین+سیستین مرغ‌های تخم‌گذار برای دستیابی به بهترین عملکرد انجام شد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این آزمایش ۳۲۴ قطعه مرغ تخم‌گذار شیور سفید در سن ۳۲ هفتگی با میانگین وزن ۱۶۲۷ گرم و میانگین درصد تولید ۹۴/۲۷ درصد بر مبنای روز مرغ، انتخاب و به‌طور تصادفی بین ۳۶ واحد آزمایشی تقسیم و هر قفس با ۹ قطعه مرغ یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. این پژوهش به صورت فاکتوریل 2×3 شامل دو منبع متیونین (دی‌ال-متیونین و هیدروکسی‌آنالوگ متیونین مایع) و سه غلظت متیونین (۲۵ درصد کمتر از غلظت توصیه، غلظت توصیه و ۲۵ درصد بیشتر از غلظت توصیه) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۶ تیمار، ۶ تکرار و ۹ قطعه پرند در هر تکرار انجام شد. مقدار متیونین مایعی که لازم بود با جیره مخلوط شود ابتدا با مقداری از جیره پایه به‌طور کامل مخلوط و یکنواخت شد و سپس به مابقی جیره در میکسر اضافه و به‌طور کامل مخلوط گردید.

تمامی پرندگان در طول دوره آزمایش به‌صورت آزاد به آب آشامیدنی و خوراک دسترسی داشتند. برنامه نوردهی به مدت ۱۶ ساعت روشنایی پیوسته و ۸ ساعت خاموشی اجرا شد. دوره آزمایش شامل دو هفته اول (۳۲-۳۴ هفتگی) جهت دوره عادت پذیری به جایگاه و شرایط آزمایش بود که مرغ‌ها با یک جیره یکسان، طبق توصیه تغذیه شدند و در دوره سنی ۳۴ تا ۴۶ هفتگی پرنده‌ها با جیره‌های آزمایشی تغذیه و رکورد برداری در این دوره انجام شد.

مکمل‌های مورد نیاز این آزمایش شامل دی‌ال-متیونین از شرکت ایونیک دگوسا (پودر کریستالی سفید با محتوای متیونین ۹۹ درصد و پروتئین خام ۵۸/۱ درصد) و هیدروکسی‌آنالوگ متیونین از شرکت ادیسو فرانسه (مایع با محتوای متیونین ۸۸ درصد و معادل پروتئین خام صفر درصد) تهیه شد.

با توجه به نتایج آزمایش آنالیز تقریبی مواد خوراکی (ذرت و کنجاله سویا)، ترکیب اسیدهای آمینه جهت تنظیم جیره‌های آزمایشی تصحیح شد. جیره‌های آزمایشی بر پایه ذرت-کنجاله سویا، مطابق با احتیاجات توصیه شده در راهنمای مدیریت مرغ تخم‌گذار شیور سفید سال ۲۰۲۰ (جیره تخم‌گذاری ۱) و بر اساس ترکیب اسیدهای آمینه قابل‌هضم تصحیح شده برای مواد خوراکی اصلی (ذرت و کنجاله سویا) با نرم افزار UFFDA تنظیم شدند. جیره پایه بدون افزودن مکمل متیونین تهیه (جدول ۱) و در تمام جیره‌های آزمایشی به‌جز متیونین+سیستین سایر اسیدهای آمینه، مواد مغذی و انرژی در غلظت توصیه شده تأمین شدند. در جیره پایه با جایگزینی نشاسته ذرت با مکمل متیونین با مقادیر ۰/۴۹، ۲/۳۶ و ۴/۲۳ گرم در کیلوگرم دی‌ال-متیونین

و ۰/۵۵، ۲/۶۶ و ۴/۷۶ گرم در کیلوگرم هیدروکسی آنالوگ متیونین، ۶ جیره (تیمار) با سطوح اسیدهای آمینه گوگردار قابل هضم ۰/۵۵۵ (۲۵ درصد کمتر از توصیه)، ۰/۷۴۲ (برابر با توصیه) و ۰/۹۲۹ (۲۵ درصد بیشتر از توصیه) درصد از دو منبع متیونین تهیه شد (Hendrix-Genetics, 2020).

در طول دوره آزمایش میزان تولید تخم مرغ در هر واحد آزمایشی به صورت روزانه (تعداد و وزن) رکورد برداری و متوسط درصد تخم گذاری و تولید توده ای تخم مرغ (گرم/مرغ/روز) در طول دوره آزمایش محاسبه شد. میانگین وزن تخم مرغ از تقسیم وزن کل تخم مرغ ها بر تعداد تخم مرغ روزانه در هر واحد آزمایشی محاسبه گردید. میزان خوراک مصرفی هر واحد آزمایشی پس از تصحیح میزان خوراک مصرفی (گرم/مرغ/روز) محاسبه شد. ضریب تبدیل خوراک هر واحد آزمایشی از تقسیم خوراک مصرفی بر تخم مرغ تولیدی محاسبه شد. برای بررسی تغییرات وزن بدن، پرنده های هر واحد آزمایشی در شروع و پایان دوره آزمایش به صورت گروهی وزن کشی شدند (Bakhshalinejad et al., 2018).

برای تعیین ترکیب شیمیایی تخم مرغ، سفیده و زرده از هم جدا شدند و بعد از وزن کشی به مدت ۷۲ ساعت داخل آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. سپس میزان درصد ماده خشک سفیده، زرده و کل تخم مرغ (بدون پوسته) محاسبه شد. برای اندازه گیری پروتئین خام و چربی از ماده خشک زرده و سفیده استفاده شد. اندازه گیری درصد پروتئین خام زرده و سفیده با استفاده از دستگاه کلدال و درصد چربی زرده نیز به وسیله دستگاه سوکسله و حلال دی اتیل اتر انجام شد. درصد پروتئین خام و چربی سفیده، زرده و کل تخم مرغ (بدون پوسته) با توجه به ماده خشک آنها محاسبه و گزارش شد (AOAC, 2019). در انتهای دوره آزمایش در نمونه های سرم، غلظت متابولیت های خون شامل کلسترول، تری گلیسرید، لیپوپروتئین ها با دانسیته پایین (LDL)، لیپوپروتئین ها با دانسیته بالا (HDL)، آلبومین، پروتئین کل، کراتینین و اسید اوریک به وسیله کیت های بیوشیمیایی شرکت پارس آزمون و دستگاه اتوآنالایزر مدل BT3000 اندازه گیری شدند. نتیجه های به دست آمده از آزمایش به صورت فاکتوریل ۲×۳ در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با کمک رویه مدل های خطی عمومی نرم افزار آماری SAS ویرایش ۹/۱ تجزیه و تحلیل شد. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال (P < ۰/۰۵) انجام شد (SAS, 2004). مدل آماری طرح به صورت زیر می باشد.

$$Y_{ijr} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + R_r + e_{ijr}$$

در این معادله، Y_{ijr} مقدار هر مشاهده، μ میانگین جامعه، A_i اثر منبع متیونین، B_j اثر غلظت متیونین+سیستین قابل هضم جیره، AB_{ij} اثر برهم کنش منبع متیونین و غلظت متیونین+سیستین قابل هضم جیره، R_r اثر بلوک و e_{ijr} اثر اشتباه آزمایشی می باشد.

جدول ۱- اجزای تشکیل دهنده و ترکیب مواد مغذی جیره پایه
Table 1. Ingredient and nutrient composition of the basal diet

مقدار Values	ترکیبات محاسبه شده Calculated composition	درصد %	اجزای مواد خوراکی Ingredient
2800	انرژی قابل متابولیسم (کیلوکالری/کیلوگرم) Metabolisable energy (Kcal/kg)	46.13	ذرت Corn
17.60	پروتئین خام (درصد) Crude protein (%)	38.05	کنجاله سویا (۳۶/۴ درصد پروتئین) Soybean meal (36.4 % CP)
3.90	کلسیم (درصد) Calcium (%)	3.62	روغن سویا Soybean oil

دی کلسیم فسفات Dicalcium phosphate	1.72	فسفر قابل دسترس (درصد) Available phosphorus (%)	0.45
سنگ آهک Limestone	9.06	سدیم (درصد) Sodium (%)	0.18
نمک NaCl	0.40	متیونین قابل هضم (درصد) Digestible Methionine (%)	0.26
مکمل ویتامینه ^۱ Vitamin premix ¹	0.25	متیونین + سیستین قابل هضم (درصد) Digestible Methionine + Cystine (%)	0.51
مکمل معدنی ^۲ Mineral premix ²	0.25	لیزین قابل هضم (درصد) Digestible Lysine (%)	0.87
دی ال- متیونین DL-Methionine	-	ترئونین قابل هضم (درصد) Digestible Threonine (%)	0.60
ال- ترئونین L-Threonine	0.03		
نشاسته ذرت corn starch	0.05		

^۱ مکمل ویتامینی به ازای هر کیلوگرم جیره: ۸۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین A (رتینول)، ۳۳۰۰ واحد بین المللی ویتامین D3 (کوله کلسیفرول)، ۲۰ واحد بین المللی ویتامین E (دی ال- آلفا توکوفرول استات)، ۲/۵ میلی گرم ویتامین K3 (منادیون)، ۲/۵ میلی گرم ویتامین B1 (تیامین)، ۵/۵ میلی گرم ویتامین B2 (ریبوفلاوین)، ۳۰ میلی گرم ویتامین B3 (نیاسین)، ۸ میلی گرم ویتامین B5 (اسید پانتوتنیک)، ۴ میلی گرم ویتامین B6 (پیریدوکسین)، ۰/۹ میلی گرم ویتامین B9 (اسید فولیک)، ۰/۰۲ میلی گرم ویتامین B12 (سیانوکوبالامین)، ۱۱۰ میلی گرم کولین و ۷/۵ میلی گرم آنتی اکسیدان.

^۲ مکمل مواد معدنی به ازای هر کیلوگرم جیره: ۹۰ میلی گرم منگنز (سولفات منگنز)، ۴۰ میلی گرم آهن (سولفات آهن)، ۸۰ میلی گرم روی (سولفات روی)، ۸ میلی گرم مس (سولفات مس)، ۱/۲ میلی گرم ید و ۰/۲۲ میلی گرم سلنیوم (سلنیت سدیم).

¹Vitamin premix supplied the following per kilogram of diet: vitamin A (all-trans-retinol), 8000 IU; vitamin D3 (cholecalciferol), 3300 IU; vitamin E (DL- α -tocopherol acetate), 20 IU; vitamin K3 (menadione), 2.5 mg; vitamin B1 (thiamin), 2.5 mg; vitamin B2 (riboflavin), 5.5 mg; vitamin B3 (niacin), 30 mg; vitamin B5 (pantothenic acid), 8 mg; vitamin B6 (pyridoxine), 4 mg; vitamin B9 (folic acid), 0.9 mg; vitamin B12 (cyanocobalamin), 0.02 mg; choline, 110 mg; and antioxidant 7.5 mg.

²Mineral premix supplied the following per kilogram of diet: Mn (manganese sulfate), 90 mg; Fe (iron sulfate), 40 mg; Zn (zinc sulfate), 80 mg; Cu (copper sulfate), 8 mg; I (iodine), 1.2 mg; and Se (sodium selenite), 0.22 mg.

نتایج و بحث

اثر نوع منبع متیونین، غلظت متیونین+سیستین قابل هضم جیره و اثرات متقابل آنها بر شاخص های عملکرد تولیدی و تغییرات وزن بدن در طول دوره آزمایش در جدول ۲ گزارش شده است. نوع منبع متیونین و اثر متقابل غلظت متیونین+سیستین قابل هضم جیره با منبع متیونین اثر معنی داری بر شاخص های عملکرد تولیدی و تغییرات وزن بدن نشان ندادند ($P>0.05$). اثر غلظت متیونین+سیستین قابل هضم جیره بر شاخص های عملکرد تولیدی شامل درصد تولید تخم مرغ، گرم تخم مرغ تولیدی روزانه، وزن تخم مرغ، مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک معنی دار شد ($P<0.05$) و بر تغییرات وزن بدن اثر معنی دار نشان نداد ($P>0.05$). درصد تولید تخم مرغ در مرغ های تغذیه شده با جیره های دارای غلظت های متیونین+سیستین قابل هضم ۰/۷۴۲ درصد (برابر با توصیه) و ۰/۹۲۹ درصد (۲۵ درصد بیشتر از توصیه) به طور معنی داری بیشتر از مرغ های تغذیه شده با غلظت ۰/۵۵۵ درصد (۲۵ درصد کمتر از توصیه) بود و درصد تولید در مرغ های تغذیه شده با جیره های دارای غلظت های ۰/۷۲۴ و ۰/۹۲۹ درصد، تفاوت معنی داری نسبت به هم نداشتند. گرم تخم مرغ تولیدی روزانه، وزن تخم مرغ و مصرف خوراک با افزایش غلظت متیونین+سیستین قابل هضم جیره افزایش و ضریب تبدیل خوراک کاهش یافت.

کاروالهو و همکاران (Carvalho et al., 2018) در آزمایشی سطوح متیونین+سیستین قابل هضم جیره در مرغ های تخم گذار در پیک تولید را مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که افزایش غلظت متیونین+سیستین قابل هضم جیره به طور معنی داری باعث افزایش تولید تخم مرغ، گرم تخم مرغ تولیدی روزانه و وزن تخم مرغ شد و ضریب تبدیل خوراک را بهبود بخشید که با

نتایج این آزمایش همخوانی داشت. مشابه با نتایج این مطالعه، بسیاری از محققان گزارش کرده‌اند که افزایش غلظت اسیدهای آمینه گوگرددار جیره سبب افزایش تولید تخم‌مرغ، وزن تخم‌مرغ، گرم تخم‌مرغ تولیدی روزانه و بهبود ضریب تبدیل خوراک می‌شود (Narváez-Solarte et al., 2005; Akbari Moghaddam Kakhki et al., 2016; Carvalho et al., 2018). بر خلاف نتایج این آزمایش برخی محققان گزارش کردند که غلظت متیونین یا اسیدهای آمینه گوگرددار جیره اثری بر تولید و وزن تخم‌مرغ نداشت (Shafer et al., 1996; Novak et al., 2004; Novak et al., 2006).

محققان با انجام پژوهشی نشان دادند که مرغ‌های تغذیه شده با جیره بر پایه ذرت و کنجاله سویا، بدون مکمل متیونین و کمترین غلظت اسیدهای آمینه گوگرددار، پایین‌ترین تولید تخم‌مرغ، گرم تخم‌مرغ تولیدی روزانه، وزن تخم‌مرغ و بالاترین ضریب تبدیل خوراک را داشتند و افزودن متیونین به جیره و رساندن غلظت اسیدهای آمینه گوگرددار به غلظت توصیه شده باعث بهبود عملکرد مرغ‌ها شد (Castro et al., 2019). این نتایج نشان می‌دهد که جیره‌های تنظیم شده بر پایه ذرت و کنجاله سویا برای مرغ‌های تخم‌گذار از نظر اسیدهای آمینه متیونین و سیستمین دارای کمبود است (Yuan et al., 2023; Zhang et al., 2024) و مکمل کردن جیره بر پایه ذرت و کنجاله سویا در مرغ‌های تخم‌گذار با متیونین باعث بهبود عملکرد تولیدی در مرغ‌های تخم‌گذار می‌شود (Gomez and Angeles, 2009; Castro et al., 2019).

کمبود متیونین در جیره بر سنتز پروتئین تأثیر می‌گذارد (Liu et al., 2022; Teng et al., 2023). متیونین در بسیاری از مسیرهای متابولیک حیاتی از جمله سنتز پروتئین، متابولیسم سیستمین و کارنیتین و متابولیسم تک کربنی شرکت می‌کند. متیونین و سیستمین فاکتورهای کلیدی متابولیسم تک کربنی هستند و سرین و گلیسین منابع اصلی گروه‌های تک کربنی می‌باشند (Liu et al., 2022). کاهش تولید تخم‌مرغ در مرغ‌های تغذیه شده با غلظت پایین‌تر از توصیه متیونین+سیستمین قابل‌هضم جیره در مطالعه حاضر می‌تواند به دلیل عدم تعادل اسیدهای آمینه باشد که سبب کاهش سنتز پروتئین، افزایش کاتابولیسم و ممانعت از جذب اسیدهای آمینه ضروری می‌شود (Narváez-Solarte et al., 2005; Carvalho et al., 2018). عملکرد تولیدی ضعیف‌طور تغذیه شده با جیره دارای کمبود متیونین را می‌توان به مصرف کم خوراک در این جیره‌ها نسبت داد (Poosuwan et al., 2010) و کاهش مصرف خوراک را ناشی از عدم تعادل اسیدهای آمینه دانست (Bunchasak and Silapasorn, 2005).

مطالعات نشان دادند که کمبود غلظت اسیدهای آمینه گوگرددار جیره مصرف خوراک را کاهش می‌دهد و مکمل کردن جیره با متیونین و افزایش غلظت اسیدهای آمینه گوگرددار موجب افزایش خطی مصرف خوراک می‌شود (Carvalho et al., 2019; Castro et al., 2018). مطابق با نتایج این آزمایش چندین مطالعه دیگر نیز نشان داده‌اند که مصرف خوراک با افزایش غلظت اسیدهای آمینه گوگرددار جیره در مرغ‌های تخم‌گذار به‌طور خطی افزایش یافته است (Bunchasak and Silapasorn, 2005; Narváez-Solarte et al., 2005; Gomez and Angeles, 2009; Zhang et al., 2024). این‌حال، شافر و همکاران (Shafer et al., 1998) نشان دادند که غلظت بیش از حد متیونین در جیره با وجود افزایش کلی مصرف متیونین، مصرف خوراک را در مرغ‌های تخم‌گذار کاهش می‌دهد. در برخی از آزمایش‌ها نیز با تغییر غلظت اسیدهای آمینه گوگرددار تفاوت مصرف خوراک معنی‌دار نبود (Novak et al., 2006; Safaa et al., 2008). ممکن است تغییر در پروفایل اسیدهای آمینه پلاسما به دلیل تغییرات غلظت اسیدهای آمینه گوگرددار، اشتیهای حیوانات را تحریک کند. بنابراین غلظت متیونین+سیستمین جیره می‌تواند بر مصرف خوراک پرندوها اثر داشته باشد (Harper et al., 1970). عدم تعادل در متیونین جیره ممکن است مصرف خوراک را تغییر دهد و یا در هضم و جذب اختلال ایجاد کند (Fagundes et al., 2020). ضریب تبدیل خوراک در پرندگانی که جیره با کمبود اسیدهای آمینه گوگرددار دریافت کرده بودند بالاتر بود و علت آن تولید

تخم مرغ پایین تر آنها بود. مکمل کردن جیره با متیونین سبب افزایش تولید مرغ ها و بهبود ضریب تبدیل خوراک شد (Narváez-Solarte et al., 2005; Akbari Moghaddam Kakhki et al., 2016; Carvalho et al., 2018). موافق با نتایج این آزمایش تعدادی از محققان اثر غلظت اسیدهای آمینه گوگرددار را بر وزن بدن معنی دار گزارش نکردند (Sohail et al., 2002; Novak et al., 2006; Safaa et al., 2008). در پژوهشی بر روی مرغ های تخم گذار زیست فراهمی هیدروکسی آنالوگ متیونین نسبت به دی-ال-متیونین به طور میانگین ۸۸ درصد محاسبه و تفاوتی بین دو منبع متیونین مشاهده نشد. در مقایسه سطوح متیونین، ضعیف ترین عملکرد مربوط به جیره پایه (بدون مکمل متیونین) بود و این گروه کمترین مصرف خوراک را داشتند و با افزایش غلظت متیونین مصرف خوراک افزایش یافت. همچنین با افزایش غلظت متیونین، میزان تولید و وزن تخم مرغ افزایش و ضریب تبدیل خوراک بهبود یافت (Liu et al., 2004a) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. همچنین برخی دیگر از محققان تفاوت معنی داری بین دو منبع هیدروکسی آنالوگ متیونین و دی-ال-متیونین مشاهده نکردند و نشان دادند که افزایش غلظت متیونین باعث بهبود عملکرد تولیدی مرغ ها می شود (Wideman et al., 1994; Liu et al., 2004a; Panda et al., 2007; Bunchasak et al., 2012).

نتایج پاندا و همکاران (Panda et al., 2007) نشان داد که اثر متقابل بین منبع و غلظت متیونین بر افزایش وزن بدن، تولید تخم مرغ، وزن تخم مرغ، خوراک مصرفی روزانه و ضریب تبدیل خوراک معنی دار نیست. مطابق با نتایج این آزمایش محققان گزارش کردند که نوع منبع، غلظت و اثر متقابل بین منبع و غلظت متیونین بر افزایش وزن بدن تاثیر نداشت (Liu et al., 2004b; Liu et al., 2005; Panda et al., 2007). همچنین بر خلاف نتایج این آزمایش اختلاف معنی داری برای وزن بدن گزارش شد (Narváez-Solarte et al., 2005; Gomez and Angeles, 2009). در آزمایش بانچاساک و همکاران (Bunchasak et al., 2012) اثر منبع متیونین بر افزایش وزن بدن معنی دار نشد ولی افزایش غلظت متیونین به طور معنی داری وزن بدن را افزایش داد. بر خلاف نتایج این آزمایش تعداد دیگری از تحقیقات انجام شده تفاوت معنی داری را بین دی-ال-متیونین در مقایسه با هیدروکسی آنالوگ متیونین در عملکرد تولیدی مرغ های تخم گذار نشان می دهد (Dänner and Bessei, 2002; Bateman et al., 2005).

در آزمایش حاضر زیست فراهمی متیونین هیدروکسی آنالوگ و دی-ال-متیونین اندازه گیری نشده است؛ اما اختلاف در نتایج مطالعات زیست فراهمی هیدروکسی آنالوگ متیونین نسبت به دی-ال-متیونین می تواند به سن پرنده (Liu et al., 2004c)، طول دوره آزمایش (Dänner and Bessei, 2002)، تنوع زیاد در عملکرد پرنده ها، نبود اطلاعات در مورد محتوای سیستمین و سایر اسیدهای آمینه جیره (Vazquez-Anon et al., 2006) و روش های مختلف آماری (Liu et al., 2004a) نسبت داده شود. جذب روده ای و کارایی زیستی هیدروکسی آنالوگ متیونین نسبت به دی-ال-متیونین در خروس ها توسط سایر محققان مورد بررسی قرار گرفته و نتایج نشان داده است که هیدروکسی آنالوگ متیونین به خوبی دی-ال-متیونین در بدن جذب شده و تفاوتی در کارایی زیستی این دو منبع متیونین وجود ندارد (Liu et al., 2004a). مطالعات انجام شده شواهد محکمی ارائه می دهد که الیگومرهای هیدروکسی آنالوگ متیونین مایع به خوبی جذب می شوند (Saunderson, 1991). بسیاری از مطالعات نشان می دهند که جذب متیونین از منابع مختلف اگرچه با مکانیسم های مختلف می باشد اما با سرعت مشابه اتفاق می افتد (Richards et al., 2005). بانچاساک و همکاران (Bunchasak et al., 2012) گزارش کردند که مکمل

هیدروکسی آنالوگ متیونین (با محتوای ۸۸ درصد زیست فراهمی دی-ال-متیونین) می‌تواند به‌عنوان یک منبع موثر متیونین در جیره استفاده شود.

جدول ۲ - اثر نوع منبع متیونین و غلظت متیونین+سیستین قابل هضم جیره بر شاخص‌های عملکرد تولیدی مرغ‌های تخم‌گذار سویه شایر سفید (۳۴-۴۶ هفتگی)

Table 2. Effect of dietary digestible Methionine + Cystine level and methionine source type on productive performance of Shaver White strain laying hens (34-46 weeks old)

تغییرات وزن بدن (گرم)	ضریب تبدیل خوراک	مصرف خوراک (گرم/مرغ/روز)	وزن تخم‌مرغ (گرم)	گرم تخم‌مرغ تولیدی روزانه (گرم/مرغ/روز)	تولید تخم‌مرغ (درصد)	غلظت متیونین + سیستین قابل هضم جیره (درصد)	غلظت مکمل متیونین در جیره (گرم/کیلوگرم)
Body weight changes (g)	Feed conversion ratio	Feed intake (g/hen/day)	Egg weight (g)	Egg mass (g/hen/day)	Egg production (%)	Dietary digestible Met+Cys ³ level (%)	Dietary Supplemental Met level (g/kg)
						هیدروکسی آنالوگ متیونین MHA ²	دی-ال-متیونین DL-Met ¹
19.39	1.882	100.16	58.93	53.28	90.42	0.555	0.49
25.36	1.773	100.70	61.62	58.14	94.35	0.742	2.36
32.56	1.708	101.38	62.36	59.36	95.19	0.929	4.23
18.28	1.889	100.08	58.74	53.05	90.29	0.555	-
24.78	1.738	100.67	61.53	57.95	94.17	0.742	-
29.81	1.710	101.40	62.25	59.31	95.26	0.929	-
4.930	0.009	0.232	0.167	0.349	0.505		SEM ⁴
نوع منبع متیونین Met Source type							
25.77	1.774	100.74	60.97	56.93	93.32		دی-ال-متیونین DL-Met
24.29	1.779	100.71	60.84	56.77	93.24		هیدروکسی آنالوگ متیونین MHA
2.846	0.005	0.134	0.097	0.201	0.291		SEM
غلظت متیونین+سیستین قابل هضم جیره Dietary digestible Met+Cys level							
18.83	1.886 ^a	100.12 ^c	58.83 ^c	53.17 ^c	90.35 ^b	0.555	
25.07	1.735 ^b	100.68 ^b	61.58 ^b	58.04 ^b	94.26 ^a	0.742	
31.18	1.709 ^c	101.39 ^a	62.31 ^a	59.33 ^a	95.23 ^a	0.929	
3.486	0.007	0.164	0.118	0.247	0.357	SEM	
سطح احتمال معنی‌داری P-Value							
0.718	0.531	0.885	0.352	0.578	0.847		اثر نوع منبع متیونین Effect of Met Source type
0.073	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001		اثر غلظت متیونین + سیستین قابل هضم جیره Effect of Dietary digestible Met+Cys level
0.974	0.965	0.980	0.949	0.963	0.968		اثر متقابل Interaction

^{a, b, c} در هر ستون میانگین‌های دارای حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P < 0.05).

^{a, b, c} Means within same column with different superscripts differ (P < 0.05).

¹DL-Methionine

²Methionine Hydroxy Analog

³Cystine

⁴Standard error of mean

نوع منبع متیونین، غلظت متیونین+سیستین قابل هضم جیره و اثرات متقابل آنها تاثیر معنی‌داری (P > 0.05) بر ترکیبات شیمیایی سفیده، زرده و تخم‌مرغ مایع شامل درصد ماده خشک، پروتئین خام و چربی در سن ۴۶ هفتگی نداشتند (جدول ۳).

در آزمایش نواک و همکاران (Novak et al., 2004) اثر غلظت اسیدهای آمینه گوگرددار در فاز اول تخم‌گذاری بر درصد ماده خشک سفیده و درصد پروتئین زرده و سفیده تخم‌مرغ معنی‌دار نشد. همچنین در پژوهش اکبری مقدم کاخکی و همکاران (Akbari Moghaddam Kakhki et al., 2016) ماده خشک و پروتئین زرده و سفیده و تخم‌مرغ مایع تحت تاثیر غلظت اسیدهای آمینه گوگرددار قرار نگرفت که مشابه با نتایج آزمایش حاضر می‌باشد. در تضاد با نتایج این آزمایش شافر و همکاران (Shafer et al., 1998) غلظت متیونین را بر ماده خشک سفیده و پروتئین سفیده و زرده معنی‌دار گزارش کردند. مطابق با نتایج به‌دست آمده بیان شد که منبع متیونین تاثیری بر درصد ماده خشک و پروتئین تخم‌مرغ ندارد ولی برخلاف نتایج این آزمایش دی‌ال-متیونین در مقایسه با هیدروکسی‌آنالوگ متیونین، درصد چربی تخم‌مرغ را افزایش داد (Bunchasak et al., 2012). مکمل کردن جیره با اسید آمینه متیونین احتمالاً باعث افزایش سنتز پروتئین از طریق فرآیند تعادل اسیدهای آمینه و یا رفع محدودکنندگی آن می‌شود و نرخ ساخت چربی در کبد را افزایش می‌دهد (Bunchasak et al., 2012). از آنجایی‌که در آزمایش حاضر با افزایش غلظت متیونین جیره درصد پروتئین و چربی زرده و درصد پروتئین سفیده تغییری نداشت، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش سنتز پروتئین و چربی در هنگام افزایش متیونین جیره، برای افزایش شاخص‌های عملکرد تولیدی (تولید تخم‌مرغ، وزن تخم‌مرغ و گرم تخم‌مرغ تولیدی روزانه)، همان‌طور که در این آزمایش مشاهده شد مصرف شده است و تغییری در ترکیب شیمیایی تخم‌مرغ ایجاد نکرده است.

جدول ۳- اثر نوع منبع متیونین و غلظت متیونین+سیستین قابل‌هضم جیره بر ترکیب شیمیایی تخم‌مرغ (درصد) مرغ‌های تخم‌گذار سویه شایر سفید در سن ۴۶ هفته‌گی
Table 3. Effect of dietary digestible Methionine + Cystine level and methionine source type on egg chemical composition (%) of Shaver White strain laying hens at 46 weeks old

Strain laying hens at 40 weeks old										
غلظت متیونین + سیستین قابل هضم جیره (گرم/کیلوگرم) Dietary Supplemental Met level (g/kg)			زرده Yolk			سفیده Albumin		تخم مرغ مایع liquid egg		
دی-ال- متیونین DL-Met ¹	هیدروکسی آنالوگ متیونین MHA ²	Dietary digestible Met+ Cys ³ level (%)	ماده خشک Dry matter	پروتئین Protein	چربی Ether extract	ماده خشک Dry matter	پروتئین Protein	ماده خشک Dry matter	پروتئین Protein	چربی Ether extract
0.49	-	0.555	50.25	17.44	29.21	12.16	10.56	23.48	12.61	8.68
2.36	-	0.742	50.49	17.69	29.65	12.37	10.86	23.65	12.88	8.78
4.23	-	0.929	50.54	17.60	29.63	12.33	10.71	23.44	12.71	8.62
-	0.55	0.555	50.19	17.42	29.29	12.12	10.51	23.36	12.55	8.65
-	2.66	0.742	50.56	17.75	29.70	12.29	10.81	23.70	12.88	8.85
-	4.76	0.929	50.45	17.57	29.63	12.29	10.74	23.37	12.72	8.60
SEM ⁴			0.177	0.143	0.302	0.199	0.210	0.165	0.151	0.091
نوع منبع متیونین Met Source type										
دی-ال-متیونین DL-Met			50.43	17.58	29.50	12.29	10.71	23.52	12.73	8.69
هیدروکسی آنالوگ متیونین MHA			50.40	17.58	29.54	12.23	10.69	23.47	12.72	8.70
SEM			0.102	0.083	0.175	0.115	0.121	0.085	0.087	0.054
غلظت متیونین + سیستین قابل هضم جیره Dietary digestible Met+ Cys level										
0.555			50.22	17.43	29.25	12.14	10.54	23.42	12.58	8.66
0.742			50.52	17.72	29.67	12.33	10.84	23.67	12.88	8.81
0.929			50.50	17.59	29.63	12.31	10.73	23.41	12.72	8.61
SEM			0.125	0.101	0.214	0.140	0.148	0.104	0.107	0.067

سطح احتمال معنی داری
P-Value

اثر نوع منبع متیونین Effect of Met Source type	0.861	0.989	0.860	0.740	0.908	0.680	0.911	0.892
اثر غلظت متیونین + سیستین قابل هضم جیره Effect of Dietary digestible Met+ Cys level	0.181	0.153	0.317	0.580	0.363	0.136	0.159	0.094
اثر متقابل Interaction	0.897	0.946	0.991	0.992	0.978	0.847	0.976	0.823

¹DL-Methionine

²Methionine Hydroxy Analog

³Cystine

⁴Standard error of mean

نتایج مربوط به اثر نوع منبع متیونین، غلظت متیونین+سیستین قابل هضم جیره و اثرات متقابل آنها بر متابولیت‌های سرم خون در سن ۴۶ هفتگی در جدول ۴ گزارش شده است. اثر غلظت متیونین+سیستین قابل هضم جیره بر میزان آلبومین، کراتینین و تری گلیسیرید سرم خون معنی دار شد ($P < 0.05$) ولی بر کلسترول، لیپوپروتئین‌ها با دانسیته پایین (LDL)، لیپوپروتئین‌ها با دانسیته بالا (HDL)، پروتئین کل و اسید اوریک اثر معنی داری نشان نداد ($P > 0.05$). پرندگان تغذیه شده با غلظت متیونین+سیستین قابل هضم ۰/۵۵۵ درصد (۲۵ درصد کمتر از توصیه) میزان تری گلیسیرید بالاتری در مقایسه با دو غلظت ۰/۷۴۲ درصد (برابر با توصیه) و ۰/۹۲۹ درصد (۲۵ درصد بیشتر از توصیه) داشتند. کراتینین سرم خون در غلظت متیونین+سیستین قابل هضم ۰/۷۲۴ درصد (برابر با توصیه) مقدار بالاتری را نسبت به دو غلظت دیگر نشان داد. میزان آلبومین سرم خون در پرندگان تغذیه شده با غلظت متیونین+سیستین قابل هضم ۰/۹۲۹ درصد (۲۵ درصد بیشتر از توصیه) پایین تر از غلظت ۰/۷۴۲ درصد (برابر با توصیه) بود. نوع منبع متیونین و اثر متقابل غلظت متیونین+سیستین قابل هضم جیره با منبع متیونین بر هیچ کدام از متابولیت‌های سرم خون اندازه گیری شده معنی دار نبودند ($P > 0.05$).

در آزمایش بررسی سطوح متیونین+سیستین قابل هضم جیره مرغ‌های تخم‌گذار اثر معنی داری بر غلظت کلسترول، اسید اوریک و پروتئین کل مشاهده نشد (Akbari Moghaddam Kakhki et al., 2016) که با نتایج این آزمایش همخوانی داشت. نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش غلظت متیونین در جیره، غلظت تری گلیسیرید خون به طور معنی داری کاهش یافت. همچنین کاهش غلظت کلسترول خون نزدیک به معنی داری بود و با افزایش سطح متیونین غلظت آن کاهش پیدا کرد. علت این نتایج را می توان چنین بیان کرد که متیونین به عنوان پیش ساز ال-کارنیتین نقش اساسی در متابولیسم لیپیدها دارد (Sigolo et al., 2019) و ال-کارنیتین دارای اثرات کاهش دهنده چربی خون است، که منجر به کاهش غلظت تری گلیسیرید، کلسترول، اسیدهای چرب آزاد و LDL خون می شود (Diaz et al., 2000).

همچنین مشابه نتایج این آزمایش، وایدمن و همکاران گزارش کردند (Wideman et al., 1994) که مرغ‌های تخم‌گذار تغذیه شده با بالاترین غلظت متیونین جیره، کمترین غلظت سرمی آلبومین را داشتند. آلبومین پروتئین اصلی سرم خون است و قبل از ترشح به گردش خون به طور انحصاری در کبد سنتز می شود. سنتز آلبومین توسط غلظت پروتئین و اسیدهای آمینه جیره تحریک می شود (Wada et al., 2017). در آزمایش حاضر تغذیه مرغ‌ها با بالاترین غلظت متیونین در جیره‌های آزمایشی، کمترین غلظت سرمی آلبومین را به دنبال داشت که می تواند به این علت باشد که افزایش سنتز پروتئین در هنگام افزایش متیونین جیره در جهت افزایش شاخص‌های عملکرد تولیدی (تولید تخم مرغ، وزن تخم مرغ و گرم تخم مرغ تولیدی روزانه) مورد استفاده قرار گرفته است و سنتز آلبومین سرم کاهش یافته است و با توجه به این که غلظت پائین متیونین در

آزمایش حاضر عملکرد تولیدی پائین تری داشت، سنتز آلبومین سرم نسبت به تیمار دارای غلظت بالای متیونین معنی دار نشده است.

برخلاف نتایج آزمایش حاضر، در پژوهش وایدمن و همکاران (Widman et al., 1994) اثر منبع و غلظت متیونین بر غلظت اسید اوریک خون معنی دار شد؛ به طوری که مرغ‌های دریافت کننده دی‌ال-متیونین نسبت به گروه دریافت کننده هیدروکسی-آنالوگ متیونین، غلظت اسید اوریک بالاتری داشتند و افزایش غلظت متیونین جیره، غلظت اسید اوریک خون را افزایش داد. کراتینین یکی از محصولات نهایی اسیدهای آمینه است که از راه ادرار دفع می‌شود. کراتین پیش‌ساز کراتینین است که عمدتاً در بافت اسکلتی و عضله قلب وجود دارد و فسفات را برای تولید آدنوزین دی فسفات (ADP) تأمین می‌کند (Hasegawa et al., 2017). پژوهش‌های انجام شده در جوجه‌های گوشتی افزایش غلظت کراتینین خون را با افزایش سطح متیونین جیره نشان دادند (Hasegawa et al., 2017; Sahebi-Ala et al., 2021). در آزمایش هاسگاو و همکاران (۲۰۱۷)، دفع کراتینین ادرار با افزایش سطح متیونین جیره از سطح کمبود به سطح توصیه شده افزایش یافت و سپس با افزایش سطح این اسید آمینه ثابت ماند (Hasegawa et al., 2017). این محققان گزارش کردند که هنگام کمبود متیونین یا آرژنین در جیره، متیونین یا آرژنین ممکن است در سنتز کراتین به صورت اسید آمینه محدود کننده عمل کنند. وقتی متیونین یا آرژنین جیره در سطح بالایی باشند، سایر پیش‌سازهای کراتین ممکن است برای بیوسنتز کراتین محدود کننده باشند و گروه‌های متیل اضافی متیونین یا آرژنین می‌تواند به وسیله مسیرهای مختلفی متابولیزه شوند.

جدول ۴ - اثر نوع منبع متیونین و غلظت متیونین + سیستین قابل هضم جیره بر غلظت متابولیت‌های خون مرغ‌های تخم‌گذار سویه شایور سفید در سن ۴۶ هفتگی
Table 4. Effect of dietary digestible Methionine + Cystine level and methionine source type on blood metabolites of Shaver White strain laying hens at 46 weeks old

hens at 46 weeks old										
غلظت مکمل متیونین در جیره (گرم/کیلوگرم) Dietary Supplemental Met level (g/kg)	غلظت متیونین + سیستین قابل هضم (درصد) Dietary digestible Met+ Cys ³ level (%)	کلسترول Cholest erol	تری گلیسرید Triglyceride	لیپوپروتئین با دانسیته بالا HDL ⁵	لیپوپروتئین با دانسیته پایین LDL ⁶	اسید اوریک Uric acid	کراتینین Creatinine	پروتئین کل Total protein	آلبومین Albumin	
دی‌ال- متیونین DL-Met ¹	هیدروکسی آنالوگ متیونین MHA ²	میلی گرم / دسی لیتر mg/dl						گرم / دسی لیتر g/dl		
0.49	-	0.555	177.33	1508.83	63.00	52.50	7.20	0.37	5.38	2.73
2.36	-	0.742	172.67	1311.83	67.67	47.33	7.77	0.45	5.50	2.57
4.23	-	0.929	158.67	1157.50	75.67	48.67	7.93	0.37	5.48	2.48
-	0.55	0.555	213.00	1709.50	68.33	55.83	7.67	0.35	5.03	2.57
-	2.66	0.742	158.33	1379.50	72.00	49.33	7.12	0.45	5.37	2.82
-	4.76	0.929	157.67	1278.00	72.00	45.83	6.75	0.40	5.33	2.38
SEM ⁴			14.975	99.148	3.326	3.340	0.405	0.027	0.203	0.097
نوع منبع متیونین Met Source type										
دی‌ال-متیونین DL-Met			169.56	1326.06	68.78	49.50	7.63	0.39	5.46	2.59
هیدروکسی آنالوگ متیونین MHA			176.33	1455.67	70.78	50.33	7.18	0.40	5.24	2.59
SEM			8.646	57.243	1.921	1.928	0.234	0.015	0.117	0.056
غلظت متیونین + سیستین قابل هضم جیره Dietary digestible Met+ Cys level										
0.555			195.17	1609.17 ^a	65.67	54.17	7.43	0.36 ^b	5.21	2.65 ^{ab}
0.742			165.50	1345.67 ^b	69.83	48.33	7.44	0.45 ^a	5.43	2.69 ^a

0.929	158.17	1217.75 ^b	73.83	47.25	7.34	0.38 ^b	5.41	2.43 ^b
SEM	10.589	70.108	2.352	2.361	0.286	0.019	0.143	0.068
سطح احتمال معنی داری								
P-Value								
اثر نوع منبع متیونین	0.584	0.122	0.468	0.762	0.180	0.801	0.214	0.944
Effect of Met Source type								
اثر غلظت متیونین + سیستم قابل هضم جیره	0.049	0.002	0.067	0.104	0.963	0.006	0.487	0.028
Effect of Dietary digestible Met+ Cys								
اثر متقابل	0.244	0.798	0.349	0.629	0.136	0.640	0.839	0.088
Interaction								

^{a, b, c} در هر ستون میانگین های دارای حروف متفاوت دارای اختلاف معنی دار می باشند ($P < 0.05$).

^{a, b, c} Means within same column with different superscripts differ ($P < 0.05$).

¹DL-Methionine

²Methionine Hydroxy Analog

³Cystine

⁴Standard error of mean

⁵High-density lipoprotein

⁶Low-density lipoprotein

نتیجه گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد غلظت متیونین+سیستین جیره مرغ های تخم گذار به مقدار ۲۵ درصد بیشتر از سطح توصیه شده برای سویه شیور سفید، اندازه تخم مرغ و گرم تخم مرغ تولیدی روزانه را افزایش داده و ضریب تبدیل خوراک را بهبود می بخشد. همچنین طبق نتایج آزمایش حاضر، تفاوت معنی داری بین دو منبع متیونین (دی ال-متیونین و هیدروکسی آنالوگ متیونین) بر عملکرد تولیدی، ترکیب شیمیایی تخم مرغ و متابولیت های خون مرغ های تخم گذار مشاهده نشد. بنابراین استفاده از هیدروکسی آنالوگ متیونین با در نظر گرفتن محتوای متیونین ۸۸ درصد، بدون تأثیر منفی بر شاخص های عملکرد تولیدی و ترکیب شیمیایی تخم مرغ می تواند جایگزین مناسبی برای دی ال-متیونین در جیره مرغ های تخم گذار باشد.

References

1. Akbari Moghaddam Kakhki, R., Golian, A., & Zarghi, H. (2016). Effect of digestible methionine+ cystine concentration on performance, egg quality and blood metabolites in laying hens. *British poultry science*, 57(3), 403-414.
2. AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2019). Official Methods of Analysis, 21st edition. AOAC. USA.
3. Bakhshalinejad, R., Hassanabadi, A., Nassiri-Moghaddam, H., & Zarghi, H. (2018). The effects of dietary calcium iodate on productive performance, egg quality and iodine accumulation in eggs of laying hens. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 102(3), 746-754.
4. Bateman, A., Liu, Z., Bryant, M. M., Wu, G., & Roland Sr, D. A. (2005). Explanation on how to interpret properly the bioefficacy of methionine hydroxy analog-free acid relative to DL-methionine estimated by regression models in laying hens. *International Journal of Poultry Science*, 4(5), 280-285.
5. Bunchasak, C. (2009). Role of dietary methionine in poultry production. *The Journal of Poultry Science*, 46(3), 169-179.
6. Bunchasak, C., Ratchadapornvanitch, Y., & Thiengtham, J. (2012). Comparative effects of supplemental DL-2-hydroxy-4-[methylthio] butanoic acid and DL-methionine in diet on egg production and quality in laying hens. *The Journal of Poultry Science*, 49(4), 260-267.

7. Bunchasak, C., & Silapasorn, T. (2005). Effects of adding methionine in low-protein diet on production performance, reproductive organs and chemical liver composition of laying hens under tropical conditions. *International Journal of Poultry Science*, 4(5), 301-308.
8. Carvalho, T. S. M., Sousa, L. S., Nogueira, F. A., Vaz, D. P., Saldanha, M. M., Triginelli, M. V., ... & Lara, L. J. C. (2018). Digestible methionine+ cysteine in the diet of commercial layers and its influence on the performance, quality, and amino acid profile of eggs and economic evaluation. *Poultry science*, 97(6), 2044-2052.
9. Castro, F. L. S., Kim, H. Y., Hong, Y. G., & Kim, W. K. (2019). The effect of total sulfur amino acid levels on growth performance, egg quality, and bone metabolism in laying hens subjected to high environmental temperature. *Poultry science*, 98(10), 4982-4993.
10. Dänner, E. E., & Bessei, W. (2002). Effectiveness of liquid DL-methionine hydroxy analogue-free acid (DL-MHA-FA) compared to DL-methionine on performance of laying hens. *Arch Geflügelkd*, 66, 97-101.
11. Diaz, M., Lopez ,F., Hernandez, F., Urbina, J.A., 2000. L-Carnitine effects on chemical composition of plasma lipoproteins of rabbits fed with normal and high cholesterol diets. *Lipids*, 35, 627-632.
12. Dibner, J. J., Vázquez-Añón, M., Parker, D., Gonzalez-Esquerro, R., Yi, G., & Knight, C. D. (2004). Use of Alimet® feed supplement (2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid, HMTBA) for broiler production. *The Journal of Poultry Science*, 41(3), 213-222.
13. Fagundes, N. S., Milfort, M. C., Williams, S. M., Da Costa, M. J., Fuller, A. L., Menten, J. F., ... & Aggrey, S. E. (2020). Dietary methionine level alters growth, digestibility, and gene expression of amino acid transporters in meat-type chickens. *Poultry science*, 99(1), 67-75.
14. Ghavi, S., Zarghi, H., & Golian, A. (2020). Effect of dietary digestible sulphur amino acids level on growth performance, blood metabolites and liver functional enzymes of broilers 1–11 days of age. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 1439-1449.
15. Gomez, S., & Angeles, M. (2009). Effect of threonine and methionine levels in the diet of laying hens in the second cycle of production. *Journal of Applied Poultry Research*, 18(3), 452-457.
16. Harper, A. E., Benevenga, N. J., & Wohlhueter, R. M. (1970). Effects of ingestion of disproportionate amounts of amino acids. *Physiological reviews*, 50(3), 428-558.
17. Hasegawa, E., Shiraishi, J. I., & Ohta, Y. (2017). Effects of dietary methionine or arginine levels on the urinary creatinine excretion in broiler chicks. *The Journal of Poultry Science*, 54(2), 167-172.
18. Hendrix-Genetics, 2020. Nutrition Guide, <https://layinghens.hendrix-genetics.com/en/technical-support/nutrition/>
19. Kalbande, V. H., Ravikanth, K., Maini, S., & Rekhe, D. S. (2009). Methionine supplementation options in poultry. *International Journal of Poultry Science*, 8(6), 588-591.
20. Lesson, S., Summers, J. D. 2001. Scott's Nutrition of the Chicken. University book. Guelph, Canada.
21. Liu, Y., Wang, D., Zhao, L., Zhang, J., Huang, S., & Ma, Q. (2022). Effect of methionine deficiency on the growth performance, serum amino acids concentrations, gut microbiota and subsequent laying performance of layer chicks. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 878107.
22. Liu, Z., Bateman, A., Bryant, M., Abebe, A., & Roland, D. (2004a). Estimation of bioavailability of DL-methionine hydroxy analogue relative to DL-methionine in layers with exponential and slope-ratio models. *Poultry science*, 83(9), 1580-1586.

23. Liu, Z., Bateman, A., Bryant, M. M., Zinner, B., & Roland Sr, D. A. (2005). Performance comparisons between DL-methionine and DL-methionine hydroxy analogue in layers on an unequal molar basis. *Journal of applied poultry research*, 14(3), 569-575.
24. Liu, Z., Bateman, A., Sohail, S. S., Zinner, B., & Roland Sr, D. A. (2004b). Statistical sensitivity required to detect any potential difference of bioavailability between DL-Methionine and DL-Methionine Hydroxy analogue in layers. *International Journal of Poultry Science*, 3(11), 697-703.
25. Liu, Z., Bryant, M. M., & Roland Sr, D. A. (2004c). Bioavailability estimation of DL-methionine hydroxy analogue relative to DL-methionine in layers fed milo-soybean diets using different regression models. *Journal of applied poultry research*, 13(3), 461-467.
26. Narváez-Solarte, W., Rostagno, H. S., Soares, P. R., Silva, M. A., & Velasquez, L. U. (2005). Nutritional requirements in methionine+ cystine for white-egg laying hens during the first cycle of production. *International Journal of Poultry Science*, 4(12), 965-968.
27. Novak, C., Yakout, H., & Scheideler, S. (2004). The combined effects of dietary lysine and total sulfur amino acid level on egg production parameters and egg components in Dekalb Delta laying hens. *Poultry Science*, 83(6), 977-984.
28. Novak, C., Yakout, H. M., & Scheideler, S. E. (2006). The effect of dietary protein level and total sulfur amino acid: lysine ratio on egg production parameters and egg yield in Hy-Line W-98 hens. *Poultry science*, 85(12), 2195-2206.
29. Panda, A. K., Rama Rao, S. V., Raju, M. V. L. N., & Bhanja, S. K. (2007). Relative performance and immune response in white leghorn layers fed liquid DL-methionine hydroxy analogue and DL-methionine. *Asian-australasian journal of animal sciences*, 20(6), 948-953.
30. Poosuwan, K., Bunchasak, C., & Kaewtapee, C. (2010). Long-term feeding effects of dietary protein levels on egg production, immunocompetence and plasma amino acids of laying hens in subtropical condition. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 94(2), 186-195.
31. Richards, J. D., Atwell, C. A., Vazquez-Anon, M., & Dibner, J. J. (2005). Comparative in vitro and in vivo absorption of 2-hydroxy-4 (methylthio) butanoic acid and methionine in the broiler chicken. *Poultry science*, 84(9), 1397-1405.
32. Safaa, H. M., Serrano, M. P., Valencia, D. G., Arbe, X., Jiménez-Moreno, E., Lázaro, R., & Mateos, G. G. (2008). Effects of the levels of methionine, linoleic acid, and added fat in the diet on productive performance and egg quality of brown laying hens in the late phase of production. *Poultry Science*, 87(8), 1595-1602.
33. Sahebi-Ala, F., Hassanabadi, A., & Golian, A. (2021). Effect of replacement different methionine levels and sources with betaine on blood metabolites, breast muscle morphology and immune response in heat-stressed broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*, 20(1), 33-45.
34. SAS. 2014. SAS user's guide: Statistics. Version 9.4. SAS Institute Inc, Cary, NC.
35. Saunderson, C. L. (1991). Metabolism of methionine and its nutritional analogs. *Poultry International*, 30, 34-38.
36. Shafer, D. J., Carey, J. B., & Prochaska, J. F. (1996). Effect of dietary methionine intake on egg component yield and composition. *Poultry Science*, 75(9), 1080-1085.
37. Shafer, D. J., Carey, J. B., Prochaska, J. F., & Sams, A. R. (1998). Dietary methionine intake effects on egg component yield, composition, functionality, and texture profile analysis. *Poultry science*, 77(7), 1056-1062.

38. Sigolo, S., Deldar, E., Seidavi, A., Bouyeh, M., Gallo, A., & Prandini, A. (2019). Effects of dietary surpluses of methionine and lysine on growth performance, blood serum parameters, immune responses, and carcass traits of broilers. *Journal of Applied Animal Research*.
39. Sohail, S. S., Bryant, M. M., & Roland Sr, D. A. (2002). Influence of supplemental lysine, isoleucine, threonine, tryptophan and total sulfur amino acids on egg weight of Hy-Line W-36 hens. *Poultry Science*, 81(7), 1038-1044.
40. Stipanuk, M. H. (2004). Sulfur amino acid metabolism: pathways for production and removal of homocysteine and cysteine. *Annu. Rev. Nutr.*, 24, 539-577.
41. Teng, P. Y., Liu, G., Choi, J., Yadav, S., Wei, F., & Kim, W. K. (2023). Effects of levels of methionine supplementations in forms of L-or DL-methionine on the performance, intestinal development, immune response, and antioxidant system in broilers challenged with *Eimeria* spp. *Poultry Science*, 102(5), 102586.
42. Vazquez-Anon, M., Kratzer, D., Gonzalez-Esquerria, R., Yi, I. G., & Knight, C. D. (2006). A multiple regression model approach to contrast the performance of 2-hydroxy-4-methylthio butanoic acid and DL-methionine supplementation tested in broiler experiments and reported in the literature. *Poultry Science*, 85(4), 693-705.
43. Wada, Y., Takeda, Y., & Kuwahata, M. (2017). Potential role of amino acid/protein nutrition and exercise in serum albumin redox state. *Nutrients*, 10(1), 17.
44. Wideman, R. F., Ford, B. C., Dibner, J. J., Robey, W. W., & Yersin, A. G. (1994). Responses of laying hens to diets containing up to 2% DL-methionine or equimolar (2.25%) 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid. *Poultry science*, 73(2), 259-267.
45. Yuan, X., Liu, Y., Chen, Y., Jiao, H., Zhao, J., Wang, X., ... & Lin, H. (2023). Effect of substitution of taurine for methionine and additional taurine supplementation on the performance and antioxidative capacity of laying hens. *Poultry Science*, 102(3), 102426.
46. Zarghi, H., & Ghavi, S. (2024). Effect of dietary methionine hydroxy analogue-free acid (MHA-FA) supplementation levels on growth performance, blood metabolites and immune responses in broiler chickens. *Veterinary Medicine and Science*, 10(2), e1365.
47. Zhang, J., Geng, S., Zhu, Y., Li, L., Zhao, L., Ma, Q., & Huang, S. (2024). Effects of dietary methionine supplementation on the growth performance, immune responses, antioxidant capacity, and subsequent development of layer chicks. *Poultry Science*, 103(3), 103382.
48. Zhang, S., Wong, E. A., & Gilbert, E. R. (2015). Bioavailability of different dietary supplemental methionine sources in animals. *Frontiers in Bioscience (Elite Ed)*, 7, 478-90.