

The effect of supplementation of L-carnitine in diets containing fish oil on egg production, antioxidant status, and serum and egg yolk lipid parameters in laying hens

A Mahdi dhihab¹, SA Mirghelenj², M Daneshyar³, H Khalilvandi²

Received: 2024-12-17

Accepted: 2025-05-13

1 PhD Student, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran

2 Associate Professor Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran

3 Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran

*Corresponding author: E mail: a.mirghelenj@urmia.ac.ir

پژوهش‌های علوم دامی Animal Science Research	Journal of Animal Science Research / vol.35 No.1/ 2025/pp 69-84 https://animalscience.tabrizu.ac.ir	OPEN ACCESS
© 2009 Copyright by Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/) DOI: 10.22034/AS.2025.65057.1769		

Introduction: Oils have multiple functions, including improved palatability, increased feed intake, safety, and performance (Stovanovic et al. 2018). Compared to broilers, the amount of oil added to the diet of laying hens is lower because laying hens have a unique physiological status and are more susceptible to lipid metabolism disorders than broilers (Gao et al. 2021). Omega-3 fatty acids play an important role in layer or poultry nutrition due to their reduced incidence of cardiovascular and inflammatory diseases (Roohanipour et al. 2022). Fish oil is one of the main sources of omega-3 polyunsaturated fatty acids, especially long-chain ones. The fatty acid profile of this oil shows that more than 30% of its fatty acids are omega-3 polyunsaturated fatty acids (Kartal et al. 2003). However, products containing higher proportions of omega-3 fatty acids make them more susceptible to lipid peroxidation, which is an undesirable characteristic (Bassels et al. 2000). The fatty acid profile of the oil plays a role in the susceptibility of oils to oxidation, as unsaturated fatty acids, and especially unsaturated fatty acids with multiple double bonds, are more susceptible to lipid peroxidation than saturated fatty acids (Weissman et al. 1998). Therefore, the use of antioxidants in diets containing fish oil seems to be crucial. Recently, the antioxidant role of L-carnitine has also been considered (Mansouri et al. 2024). L-carnitine is reported to be a potent antioxidant that reduces oxidative damage while enhancing antioxidant enzyme activity, thus protecting cells from damage (Mansouri et al. 2024). In recent years, although fish oil has been used to enrich eggs with omega-3 fatty acids and even its positive effects on egg-laying physiology, its storage and oxidation problems have always been a matter of debate. Therefore, the present study was conducted to investigate the effect of L-carnitine supplementation in diets containing different levels of fish oil on the antioxidant function and parameters of blood and liver, and serum and egg yolk lipid parameters in aged laying hens.

Materials and methods: In this study, 432 laying hens (Hy-line-W36, 65 weeks of age) were used. Birds with similar body weight (1530 ± 50 g) was conducted in a completely randomized design with a 2x3 factorial experiment with 6 replications and 8 birds per each. In order to adaptation to the experimental conditions, the birds were first fed with the basal diet for 2 weeks. The experimental treatments included diets containing 3 levels of fish oil (0, 1.5 and 3% of the diet) and 3 levels of L-carnitine (0, 300 and 600 mg/kg of the diet) supplementation, which were adjusted according to the nutritional recommendations of the Hy-line-W36 strain in 2020. To evaluate performance indicators, eggs were collected twice a day (10 am and 4 pm) and the number and total weight of eggs were recorded at the end of each day. Egg mass, feed intake and feed conversion ratio were calculated weekly. To evaluate blood parameters, two serum samples from each replicate (12 samples per treatment) were prepared at the end of the experimental period. To evaluate the antioxidant status of the liver, at the end of the experimental period, 6 chickens from each treatment were slaughtered and after opening the carcass, the livers of the birds were separated and sent to the laboratory to evaluate the antioxidant status. To measure yolk lipids, 100 mg of egg yolk was mixed with 2.5 ml of NaOH solution using a digital scale and neutralized with 2.5 ml of HCl solution (after 24 hours). The samples (liver, yolk and serum) were tested using an automatic analyzer and kits prepared from Pars Azmoun Company. Serum lipids were measured at a wavelength of 550 nm based on the enzymatic method and serum and liver antioxidant parameters were measured based on the methods recommended by the kit manufacturer. All data from this experiment were statistically analyzed in a completely randomized design with a 3x3 factorial test using SAS software and the Mixed procedure.

Results and discussion: The results showed that hens treated with 3% fish oil and 300 and 600 mg L-carnitine had the highest percentage of production, weight and egg mass, which was significantly higher than the treatment without fish oil and L-carnitine. The feed conversion ratio also increased in the treatments without L-carnitine supplementation compared to the other experimental treatments ($P < 0.05$). Diets containing 1.5 and 3% fish oil caused a decrease in the total antioxidant capacity of the liver and serum and an increase in serum malondialdehyde, which the use of 300 and 600 mg L-carnitine in these diets increased the total antioxidant capacity and reduced malondialdehyde. Also, the main effects of fish oil and L-carnitine showed that 3% fish oil increased liver malondialdehyde levels and 300 and 600 mg L-carnitine increased the activities of superoxide dismutase and glutathione peroxidase enzymes compared to the control treatment ($P < 0.05$). The interaction of L-carnitine and fish oil had synergistic effects on serum triglyceride, cholesterol, and LDL concentrations, and 1.5 and 3% fish oil levels along with 300 and 600 mg L-carnitine significantly reduced serum triglyceride, cholesterol, and LDL concentrations. The main effects of L-carnitine at 300 and 600 mg L-carnitine levels decreased yolk cholesterol concentrations and increased serum HDL ($P < 0.05$). In agreement with the findings of the present study, recent studies reported improvements in egg production and weight using 1.2 and 1.5% fish oil in the diet of laying hens (Kralik et al. 2021).

Conclusion: In general, according to the results obtained, the present researchers recommend using 1.5% fish oil in the diet of laying hens in order to benefit from the positive effects of fish oil on egg-laying performance and blood lipid parameters. However, based on the present results, if 3% fish oil is used, the use of L-carnitine can be beneficial to prevent lipid peroxidation and reduce yolk cholesterol.

Keywords: L-carnitine, Fish oil, Liver, Egg yolk, Laying hens

اثر مکمل کردن ال-کارنیتین به جیره‌های غذایی حاوی روغن ماهی بر عملکرد تولید، وضعیت آنتی‌اکسیدانی و فراسنجه‌های لیپیدی سرم و زرده تخم‌مرغ در مرغ‌های تخم‌گذار

علی مهدی ذیاب^۱، سیدعلی میرقلنج^۲، محسن دانشیار^۳، حامد خلیلوندی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۹/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۲۳

۱ دانشجوی دکتری تخصصی گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۲ دانشیار گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۳ استاد گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

*مسئول مکاتبه: Email: a.mirghelenj@urmia.ac.ir

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر مکمل سازی ال-کارنیتین در جیره‌های غذایی حاوی سطوح مختلف روغن ماهی بر عملکرد تولید، وضعیت آنتی‌اکسیدانی خون و کبد و فراسنجه‌های لیپیدی سرم و زرده تخم‌مرغ در مرغ‌های تخم‌گذار انجام شد. بدین منظور از تعداد ۴۳۲ قطعه مرغ تخم‌گذار (Hy-line-W36، سن ۶۵ هفتگی) در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با روش فاکتوریل ۳ × ۳، با ۶ تکرار و ۸ قطعه پرند در هر تکرار استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل جیره‌های حاوی ۳ سطح روغن ماهی (صفر، ۱/۵ و ۳ درصد جیره) و ۳ سطح ال-کارنیتین (صفر، ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره) بودند. نتایج نشان داد که مرغ‌های تیمار ۳ درصد روغن ماهی و ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین بیشترین درصد تولید، وزن و توده تخم‌مرغ را داشتند که به‌طور معنی‌دار از تیمار بدون روغن ماهی و ال-کارنیتین بیشتر بود. جیره‌های حاوی ۱/۵ و ۳ درصد روغن ماهی باعث کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل کبد و سرم و افزایش مالون دی‌آلدئید سرم شدند که استفاده از ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ال-کارنیتین در این جیره‌ها ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل را افزایش و تولید مالون دی‌آلدئید را کاهش داد. اثر متقابل ال-کارنیتین و روغن ماهی اثرات هم‌افزایی بر غلظت تری‌گلیسرید، کلسترول و LDL سرم داشتند و سطح ۱/۵ و ۳ درصد روغن ماهی همراه با ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین غلظت تری‌گلیسرید، کلسترول و LDL سرم را به‌طور معنی‌دار کاهش دادند. اثرات اصلی ال-کارنیتین در سطح ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین باعث کاهش غلظت کلسترول زرده و افزایش HDL سرم شد. در کل، به‌هنگام استفاده از ۱/۵ درصد روغن ماهی در تغذیه مرغ‌های تخم‌گذار، مکمل سازی جیره با حداقل ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ال-کارنیتین اثرات بهتری بر وضعیت آنتی‌اکسیدانی مرغ‌های تخم‌گذار خواهد داشت.

واژگان کلیدی: ال-کارنیتین، روغن ماهی، کبد، زرده تخم‌مرغ، مرغ تخم‌گذار

مقدمه

روغن‌ها اثرات متعددی از جمله بهبود خوش‌خوراکی، افزایش مصرف خوراک، ایمنی و عملکرد دارند (استوانویچ و همکاران ۲۰۱۸). در مقایسه با جوجه‌های گوشتی، مقدار روغن اضافه شده به جیره مرغ‌های تخم‌گذار کمتر است، زیرا مرغ‌های تخمگذار وضعیت فیزیولوژیکی منحصر به فردی دارند و بیشتر از جوجه‌های گوشتی در معرض اختلالات متابولیسم چربی هستند (گائو و همکاران ۲۰۲۱). اسیدهای چرب امگا-۳ مهمترین خانواده اسیدهای چرب غیراشباع چندانگانه هستند و نقش‌های مهمی در بسیاری از فعالیت‌های فیزیولوژیکی مانند تخم‌گذاری، کاهش سطح کلسترول خون، بهبود پاسخ ایمنی و افزایش باروری در طیور ایفا می‌کنند (روحانی پور و همکاران ۲۰۲۲). روغن ماهی یکی از منابع اصلی اسیدهای چرب غیراشباع امگا-۳ خصوصاً بلند زنجیر است. پروفایل اسیدهای چرب این روغن نشان می‌دهد که بیش از ۳۰ درصد اسیدهای چرب آن را اسیدهای چرب غیراشباع امگا-۳ تشکیل می‌دهد (کارتال و همکاران ۲۰۰۳). این روغن حاوی اسیدهای چرب اشباع نسبتاً کمی است و نسبت اسیدهای امگا-۶ به امگا-۳ در آن تقریباً یک است. علاوه بر پروفایل بسیار با ارزش اسیدهای چرب در روغن ماهی و امکان غنی سازی تخم‌مرغ با این اسیدهای چرب (کرالیک و همکاران ۲۰۲۱) مطالعات نشان داده‌اند که تغذیه مرغ‌های تخم‌گذار با جیره غذایی حاوی ۳ درصد روغن ماهی میتواند به طور قابل توجهی تولید تخم‌مرغ و وزن تخم‌مرغ را نیز افزایش دهد (ماريو و همکاران، ۲۰۱۵). گزارشات قبلی نشان دهنده اثرات مثبت اسیدهای چرب امگا ۳ بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی پرندگان از جمله تخم‌گذاری، می‌باشد (آلگوانی و همکاران ۲۰۱۹). با این حال محصولاتی که حاوی نسبت‌های بالاتری از اسیدهای

چرب امگا-۳ هستند، آنها را نسبت به پراکسیداسیون لیپید حساس‌تر می‌کند که یک ویژگی نامطلوب است (باسلز و همکاران ۲۰۰۰). در آزمایشی، افزایش قابل توجه میزان مالون دی‌آلدئید خون، فعالیت آسپارات ترانس آمیناز و محتوای اسید اوریک مرغ‌های تخم‌گذار نشان داده است که روغن ماهی باعث ایجاد پراکسیداسیون لیپیدی و اختلال در عملکرد کبد مرغ‌های تخم‌گذار می‌شود (دونگ و همکاران ۲۰۱۸). مشخصات اسیدهای چرب روغن در حساسیت روغن‌ها به اکسیداسیون نقش دارد، زیرا اسیدهای چرب غیراشباع و خصوصاً اسیدهای چرب غیراشباع با چند پیوند دوگانه نسبت به اسیدهای چرب اشباع بیشتر مستعد پراکسیداسیون لیپیدی می‌باشند (وایزمن و همکاران ۱۹۹۸). پراکسیداسیون لیپیدی یک واکنش زنجیره‌ای است که ترکیباتی مانند پراکسیدها، آلدئیدها و ترکیبات قطبی را تولید و مصرف و در عین حال ظرفیت آنتی-اکسیدانی روغن را کاهش می‌دهد (لیندبلوم و همکاران ۲۰۱۹). بنابراین استفاده از آنتی‌اکسیدان‌ها در جیره‌های حاوی روغن ماهی امری حیاتی به نظر می‌رسد.

ال-کارنیتین (β -هیدروکسی- γ -تری متیل آمینوبوتیرات) از اسیدهای آمینه پیش‌ساز (متیونین و لیزین) و بسیاری از ویتامین‌ها به عنوان کوفاکتور مانند ویتامین C، B₃، B₆ و B₉ و آهن سنتز می‌شود (الشمری و همکاران ۲۰۲۴). بیوسنتز ال-کارنیتین به طور کلی در کبد و کلیه‌ها اتفاق می‌افتد که تقریباً ۷۵ درصد آن از منابع غذایی و ۲۵ درصد به صورت درون‌زا تولید می‌شود (الکومی و همکاران ۲۰۲۰). یکی از نقش‌های مهم ال-کارنیتین، کمک به انتقال اسیدهای چرب به داخل میتوکندری در جهت تولید انرژی می‌باشد که برای حفظ عملکردهای فیزیولوژیکی بهینه در حیوانات مختلف حیاتی است (بهرام پور و همکاران ۲۰۲۴). جدیداً، نقش آنتی‌اکسیدانی

قطعه پرند در هر تکرار اختصاص داده شدند. پرندگان به منظور سازگاری با شرایط آزمایش، ابتدا به مدت ۲ هفته با جیره پایه و سپس به مدت ۸ هفته (۵۶ روز) با تیمارهای آزمایشی تغذیه شدند. تیمارهای آزمایشی شامل جیره‌هایی حاوی ۳ سطح روغن ماهی (صفر، ۱/۵ و ۳ درصد جیره) و ۳ سطح ال-کارنیتین (صفر، ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره) بودند که مطابق با توصیه‌های تغذیه‌ای سویه Hy-line-W36 (۲۰۲۰) تنظیم شدند (جدول ۱). برنامه نوری ۱۶ ساعت روشنایی با شدت ۳۰ لوکس و ۸ ساعت تاریکی بود. در طول مدت زمان انجام آزمایش دما و رطوبت سالن به ترتیب در ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۴۰ تا ۵۰ درصد حفظ شدند.

برای ارزیابی شاخص‌های عملکرد تولید، تخم‌مرغ‌ها دو بار در طول روز (ساعت ۱۰ صبح و ۴ بعد از ظهر) جمع‌آوری و تعداد و وزن جمعی تخم‌مرغ‌ها در پایان هر روز ثبت و میانگین وزنی محاسبه می‌شد. توده تخم‌مرغ، مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک به صورت هفتگی محاسبه شدند. بدین صورت که با تقسیم تعداد تخم‌مرغ‌های تولید شده در هر تکرار بر روز مرغ آن تکرار، درصد تولید تخم‌مرغ محاسبه شد. توده تخم‌مرغ با ضرب میانگین وزن تخم‌مرغ هر تکرار در درصد تولید تخم‌مرغ آن محاسبه شد. همچنین جهت محاسبه ضریب تبدیل خوراک، مصرف خوراک به توده تخم‌مرغ تقسیم شد.

ال-کارنیتین نیز مورد توجه قرار گرفته است. بر اساس گزارش‌ها، ال-کارنیتین یک آنتی‌اکسیدان قوی است که آسیب اکسیداتیو را کاهش می‌دهد و در عین حال فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی را بهبود می‌بخشد، بنابراین از سلول‌ها در برابر آسیب محافظت می‌کند (منصوری و همکاران ۲۰۲۴).

در سالیان اخیر اگرچه از روغن ماهی جهت غنی‌سازی اسیدهای چرب امگا-۳ در تخم‌مرغ و حتی اثرات مثبت آن بر تخم‌گذاری استفاده شده ولی همواره مشکل نگهداری و اکسید شدن آن مورد بحث بوده است. با توجه به فعالیت‌های متابولیکی متفاوت ال-کارنیتین و منابع اسیدهای چرب امگا-۳ بلند زنجیر در مرغ‌های تخم‌گذار، به نظر می‌رسد افزودن ال-کارنیتین به جیره‌های غذایی حاوی روغن ماهی، نه تنها می‌تواند عملکرد تخم‌گذاری را افزایش دهد، بلکه به نظر می‌رسد که بتواند خواص آنتی-اکسیدانی را نیز بهبود بخشد. بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر مکمل سازی ال-کارنیتین در جیره‌های حاوی سطوح مختلف روغن ماهی بر عملکرد و پارامترهای آنتی‌اکسیدانی خون و کبد و فراسنجه‌های لیپیدی سرم و زرده تخم‌مرغ در مرغ‌های تخم‌گذار مسن انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از تعداد ۴۳۲ قطعه مرغ تخم‌گذار (Hy-line-W36، سن ۶۵ هفتگی) استفاده شد. پرندگان با وزن بدن مشابه (1530 ± 50 گرم) انتخاب و در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با روش فاکتوریل 3×3 ، با ۶ تکرار و ۸

Table 1- Ingredient and chemical composition of experimental diets

Ingredient (% of diet)	Control	1.5% fish oil	3% fish oil
Corn	60.17	56.73	53.01
Soybean meal (44%)	25.66	25.54	26.43
Wheat bran	-	1.00	2.00
Soybean oil	0.3	0.3	0.3
Fish oil	-	1.50	3.00
Dicalcium phosphate	2.16	2.27	2.48
Calcium carbonate	10.86	11.31	11.89
Salt	0.32	0.32	0.32
Sodium bicarbonate	0.10	0.10	0.10
DL- Methionine	0.097	0.098	0.102
Vitamin premix ¹	0.30	0.30	0.30
Mineral premix ²	0.30	0.30	0.30
Chemical composition			
Metabolisable energy (kcal/kg)	2685	2685	2685
Crude protein (%)	15.70	15.70	15.70
Ether extract (%)	2.78	3.91	4.98
Calcium (%)	4.65	4.65	4.65
Available phosphorus (%)	0.39	0.39	0.39
Methionine (%)	0.37	0.37	0.37
Methionine + Cysteine (%)	0.65	0.65	0.65
Lysine (%)	0.79	0.79	0.79
Fatty acid composition			
C18:2 n-6	35.01	31.47	27.92
C18:3 n-3	0.31	0.33	0.59
C20:4 n-6	0.33	0.38	0.53
C20:5 n-3	0.01	1.11	2.39
C22:6 n-3	0.01	0.92	1.61
SFA	31.01	34.99	38.65
PUFA	35.66	33.73	32.84
PUFA: SFA	1.15	0.96	0.85
Omega-3	0.33	2.35	4.39
Omega-6	35.33	31.38	28.45
Omega-6: Omega-3	107.1	13.35	6.48
LA: ALA	112.9	93.93	47.32

¹ Supplied per kilogram of diet: Vitamin A, IU10000; Vitamin D₃ IU2500; Vitamin E, IU10; Vitamin B₁, 22mg; Vitamin B₂, 4mg; Vitamin B₃, 8mg; Vitamin B₄, 2mg; Vitamin B₉, 0.56mg; Vitamin B₁₂, 0.015mg; Choline, 200mg.

² Supplied per kilogram of diet: Manganese, 80mg; Iron, 50mg; Zinc, 60mg; Copper, 12mg; Sodium Selenite, 0.3mg.

PUFA: polyunsaturated fatty acids, SFA: saturated fatty acids, LA: linoleic acid, ALA: a-linolenic acid.

دانشگاه علوم پزشکی تبریز منتقل شدند. برای ارزیابی وضعیت آنتی‌اکسیدانی کبد، در پایان دوره آزمایش تعداد ۶ قطعه مرغ از هر تیمار کشتار و پس از بازکردن لاشه، کبد پرندگان جدا شد و برای ارزیابی ظرفیت تام آنتی-اکسیدانی، فعالیت مالون دی‌آلدئید و آنزیم‌های گلوکاتیون پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز، کبد به آزمایشگاه ارسال شد. برای اندازه‌گیری لیپیدهای زرده، ۱۰۰ میلی‌گرم زرده تخم‌مرغ با ترازو دیجیتالی (۰/۰۰۱ گرم؛ مدل JT3003D، چین)، با ۲/۵ میلی‌لیتر محلول NaOH مخلوط شده و با ۲/۵ میلی‌لیتر محلول اسید

برای ارزیابی فراسنجه‌های خونی تعداد دو نمونه سرم از هر تکرار (۱۲ نمونه به ازاء هر تیمار) در انتهای دوره آزمایش تهیه شدند. نمونه‌های خون از ورید بال تهیه شده و با قرار دادن سرنگ‌های ۵ سی‌سی حاوی خون به صورت زاویه‌دار در دمای اتاق به مدت ۶ ساعت نمونه‌های سرم استحصال شدند. جهت دستیابی به نمونه‌های بهتر و شفاف‌تر، نمونه‌های سرم به مدت ۱۲ دقیقه و با دور ۵۶۰۰ سانتریفیوژ شدند (مصبوب زاده و همکاران ۲۰۲۵). نمونه‌ها در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه بیوشیمیایی مرکز تحقیقات دارویی

را نشان می‌دهد. طبق نتایج بدست آمده درصد تولید، وزن تخم‌مرغ، توده تخم‌مرغ و ضریب تبدیل خوراک تحت تاثیر اثرات اصلی روغن ماهی و ال-کارنیتین و اثر متقابل روغن ماهی $\times$ ال-کارنیتین قرار گرفتند و مرغ‌های تیمار ۳ درصد روغن ماهی و ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین بیشترین درصد تولید، وزن و توده تخم‌مرغ را داشتند که به‌طور معنی‌دار از تیمار بدون روغن ماهی و ال-کارنیتین بیشتر بود ($P < 0.05$). ضریب تبدیل خوراک نیز در تیمارهای بدون مکمل ال-کارنیتین نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی افزایش نشان داد ($P < 0.05$).

در توافق با یافته‌های پژوهش حاضر، مطالعات اخیر با استفاده از ۱/۲ و ۱/۵ درصد روغن ماهی در جیره مرغ‌های تخم‌گذار، بهبود تولید و وزن تخم‌مرغ را گزارش نمودند (کرالیک و همکاران ۲۰۲۱). گزارشات قبلی نشان دهنده اثرات مثبت اسیدهای چرب امگا ۳ بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی پرندگان از جمله تخم‌گذاری، سرعت رشد، ایمنی، سیستم اسکلتی و تولید مثل است (آلگوانی و همکاران ۲۰۱۹). اگرچه در این تحقیق سعی شده همه جیره‌ها سطح انرژی یکسانی داشته باشند ولی به نظر می‌رسد افزایش سطح اسیدهای چرب امگا ۳ در جیره غذایی، انرژی قابل دسترس بیشتری را در سطح سلولی برای سیستم تولیدمثلی پرندۀ تامین می‌کند که با تخم‌گذاری بیشتر و ضریب تبدیل خوراک کارآمدتر همراه است، بنابراین افزایش سطح تولید تخم‌مرغ را می‌توان به نقش اسیدهای چرب امگا ۳ در فعالیت‌های فیزیولوژیکی تولید مثل نسبت داد. در این راستا، تأثیر مثبت اسیدهای چرب امگا ۳ در پرندگان در مورد بسیاری از فعالیت‌های فیزیولوژیکی مانند تولید تخم‌مرغ و باروری گزارش شده است (بوزکورت و همکاران ۲۰۰۸). از طرفی دیگر شهریار و همکاران (۲۰۲۱) با اندازه‌گیری قابلیت هضم ظاهری در روغن ماهی و سویا، ضمن تأیید یافته‌های محققان پیشین مبنی بر تأثیر

هیدروکلریدریک ۰/۲۵ نرمال خنثی شد (پس از ۲۴ ساعت) (مصیب زاده و همکاران ۲۰۲۳). نمونه‌ها (کبد، زرده و سرم) با استفاده از دستگاه آنالیز خودکار (Autoanalyser؛ مدل Bayer، Technicon RA 1000) و کیت‌های تهیه شده از شرکت پارس آزمون مورد آزمایش قرار گرفتند. لیپیدهای سرم (شامل کلسترول، تری‌گلیسرید، HDL و LDL) در طول موج ۵۵۰ نانومتر بر اساس روش آنزیمی و فراسنجه‌های آنتی‌اکسیدانی سرم (ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی و فعالیت مالون دی‌آلدئید) و کبد (ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی، فعالیت مالون دی‌آلدئید، آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز) براساس روش‌های توصیه شده توسط شرکت سازنده کیت‌ها (پارس آزمون) اندازه‌گیری شدند.

داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از PROC UNIVARIATE نرم‌افزار SAS، از نظر نرمال بودن مورد بررسی قرار گرفتند و در صورت نیاز، درصد داده‌ها با تبدیل $\text{ArcSin}\sqrt{x}$ نرمال‌سازی شدند. کلیه داده‌های حاصل از این آزمایش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با آزمون فاکتوریل 3×3 توسط نرم‌افزار SAS و با رویه Mixed مورد تجزیه آماری قرار گرفت. مدل آماری طرح مورد استفاده به شرح زیر است:

$$y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + e_{ijk}$$

در مدل آماری مذکور μ میانگین کل، A_i اثر سطح i ام روغن ماهی، B_j اثر سطح j ام ال-کارنیتین، AB_{ij} اثر متقابل سطح روغن ماهی و ال-کارنیتین و e_{ijk} اثر خطای آزمایشی یا عوامل ناشناخته در هر مشاهده بود. بررسی معنی‌دار بودن اختلافات بین میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

صفات عملکرد تولید

جدول ۲ اثر استفاده از ال-کارنیتین در جیره‌های حاوی سطوح مختلف روغن ماهی بر عملکرد مرغ‌های تخم‌گذار

افزایش انرژی قابل متابولیسم بر بهبود عملکرد حیوان، با ارزیابی وضعیت بافت شناسی روده اعلام داشتند که بهتر شدن افزایش وزن بدن جوجه‌های گوشتی با تغذیه جیره‌های حاوی روغن ماهی و سویا می‌تواند ناشی از تأثیر این منابع چربی بر توسعه بافت روده و افزایش ماندگاری مواد خوراکی مصرف شده در محیط روده باشد؛ چرا که این شرایط موجب افزایش هضم و جذب مواد مغذی می‌شود. بنابراین، در آزمایش حاضر روغن ماهی در سطح ۳ درصد احتمالاً به دلیل افزایش سطح اسیدهای چرب امگا-۳ جیره و فراهم کردن انرژی‌زایی بیشتر در سطح سلولی برای کبد یا تخمدان و همچنین کاهش سرعت عبور مواد در روده باریک موجب بهبود عملکرد مرغ‌های تخم‌گذار شد.

در آزمایشی، محققان اثرات سطوح مختلف ال-کارنیتین را بر عملکرد تولیدی مرغ‌های تخم‌گذار بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که مکمل ال-کارنیتین (۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) تولید تخم‌مرغ و توده تخم‌مرغ را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داد (کاظمی فرد و همکاران ۲۰۱۵). علاوه بر این، پیگناتلی و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که ال-کارنیتین سیستم NADPH اکسیداز را با تداخل با پیوند اسید آراشیدونیک بین فسفولیپیدها و پروتئین کیناز-c واسطه می‌کند. از طرفی دیگر اسیدهای چرب امگا ۳ و ال-کارنیتین می‌توانند با تنظیم تعادل میکروبی روده و افزایش ترشح آنزیم‌های گوارشی از اندام‌های مربوطه مانند پانکراس، به حفظ سلامت دستگاه گوارش کمک کنند (سورش و سرینیواسان ۲۰۰۷). نشان داده شده است که، مکمل ال-کارنیتین باعث افزایش بتا اکسیداسیون اسیدهای چرب و تولید ATP می‌شود (مدسن و همکاران ۲۰۱۸). افزایش اکسیداسیون اسیدهای چرب ناشی از ال-کارنیتین ممکن است در دسترس بودن

اسیدهای چرب با زنجیره بلند برای استری شدن به تری‌گلیسرول را کاهش دهد و در عین حال سطح استیل-کوآ را در میتوکندری افزایش دهد (روحانی پور و همکاران ۲۰۲۲). فعالیت پیرووات کربوکسیلاز، آنزیم وابسته به استیل کوآ که ممکن است زنجیره‌های کربنی را برای بیوسنتز اسیدهای آمینه فراهم کند، احتمالاً در این شرایط تحت تأثیر قرار گیرد (داهش و سانکارارامان ۲۰۲۲). نشان داده شده که ال-کارنیتین اضافی ممکن است عملکرد تولید را تا حدی به دلیل عملکرد ذخیره آمینو اسید و همچنین دخالت آن در متابولیسم اسیدهای چرب بهبود بخشد. ال-کارنیتین می‌تواند با افزایش اکسیداسیون اسیدهای چرب، بیوسنتز استروژن و پروژسترون را تحریک کند. بدین ترتیب که با افزایش بازسازی احیاکننده‌های مورد نیاز برای واکنش برش زنجیره جانبی کلسترول، باعث تولید بیشتر هورمون‌های جنسی شده و همچنین بر رشد و بلوغ فولیکول‌های کوچک تخمدان اثر گذاشته و باعث تسریع روند تخمک-اندازی می‌شود (آگاروال و همکاران ۲۰۱۸). همچنین استفاده از مکمل ال-کارنیتین ممکن است از نظر تئوری تقاضا برای تولید ال-کارنیتین از متیونین را کاهش داده و با صرفه جویی متیونین، متیونین برای سایر اهداف بیولوژیکی استفاده شود (میرزایی و همکاران ۲۰۲۲).

Table 2- Effects of using L-carnitine in diets containing different levels of fish oil on the performance of laying hens

Treatment	Egg production (%)	Egg weight (g)	Egg mass (g/d/bird)	Feed intake (g/d/bird)	Feed conversion ratio
Fish oil (%)					
0	87.79 ^b	58.57 ^c	51.41 ^c	103.9	2.02 ^a
1.5	88.52 ^{ab}	59.14 ^b	52.37 ^b	103.8	1.98 ^b
3	89.15 ^a	59.68 ^a	53.22 ^a	103.9	1.95 ^c
SEM	0.260	0.159	0.254	0.142	0.008
P-Value	0.023	0.013	0.011	0.929	0.019
L-Carnitine (mg/kg)					
0	86.98 ^b	57.11 ^b	49.69 ^b	103.8	2.09 ^a
300	88.66 ^a	59.65 ^a	52.91 ^a	103.9	1.96 ^b
600	89.79 ^a	60.64 ^a	54.45 ^a	104.0	1.91 ^c
SEM	0.282	0.159	0.254	0.142	0.008
P-Value	0.039	0.029	0.007	0.789	0.022
Fish oil × L-Carnitine					
0×0	87.30 ^b	56.83 ^c	49.60 ^b	103.8	2.09 ^a
0×300	87.74 ^b	58.96 ^b	51.72 ^b	104.0	2.01 ^b
0×600	88.33 ^{ab}	59.93 ^{ab}	52.92 ^{ab}	103.9	1.96 ^b
1.5×0	86.69 ^b	56.91 ^c	49.32 ^b	103.8	2.10 ^a
1.5×300	88.32 ^{ab}	59.74 ^{ab}	52.76 ^{ab}	104.3	1.97 ^b
1.5×600	90.55 ^a	60.78 ^a	55.05 ^a	103.8	1.88 ^c
3×0	87.05 ^b	57.61 ^{bc}	51.17 ^b	104.0	2.07 ^a
3×300	89.91 ^a	60.20 ^a	54.13 ^a	103.6	1.91 ^c
3×600	90.51 ^a	61.22 ^a	55.39 ^a	104.3	1.88 ^c
SEM	0.450	0.376	0.570	0.646	0.014
P-Value	0.033	0.047	0.016	0.171	0.021

^{a-c} Means in the same column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

وضعیت آنتی‌اکسیدانی

اثر متقابل ال-کارنیتین و سطح روغن ماهی تاثیر معنی-داری بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل کبد و سرم و مالون دی‌آلدئید سرم داشت (جدول ۳). جیره‌های حاوی ۱/۵ و ۳ درصد روغن ماهی باعث کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل کبد و سرم و افزایش مالون دی‌آلدئید سرم شدند که استفاده از ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین در این جیره‌ها ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل را افزایش و مالون دی‌آلدئید را کاهش داد ($P < 0.05$). همچنین اثرات اصلی روغن ماهی و ال-کارنیتین نشان داد که ۳ درصد روغن ماهی باعث افزایش میزان مالون دی‌آلدئید کبد و ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و گلوکاتایون پراکسیداز نسبت به تیمار شاهد شد ($P < 0.05$).

از آنجایی که اسیدهای چرب غیراشباع مستعد اکسیداسیون هستند، در این آزمایش نیز افزایش محتوای مالون دی‌آلدئید یا کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی سرم و کبد در پرندگان مشاهده شد. این امر به ویژه در پرندگانی که سطوح بالایی از روغن ماهی دریافت می-کردند به دلیل مقادیر بالاتر اسیدهای چرب غیراشباع، به ویژه اسیدهای چرب غیراشباع با چند پیوند دوگانه، انتظار می‌رفت. این افزایش مالون دی‌آلدئید می‌تواند به دلیل افزایش سطح اسیدهای چرب غیراشباع در کبد و همچنین در سرم مرغ باشد که منجر به کاهش پایداری اکسیداتیو آنها می‌شود. نتایج حاضر، موافق یافته‌های مطالعات پیشین انجام شده با استفاده از سطح بالای روغن ماهی در جیره مرغ‌های تخم‌گذار بود که افزایش میزان مالون دی‌آلدئید سرم را گزارش کردند (دونگ و همکاران ۲۰۱۸). این محققان اظهار داشتند که تحریک

پراکسیداسیون لیپیدها، اختلال و آسیب به عملکرد کبد عامل اصلی افزایش میزان مالون دی‌آلدئید و آنزیم‌های کبدی بود.

در سطح سلولی، سه لایه اولیه دفاع آنتی اکسیدانی وجود دارد. مرحله اول شامل سه آنزیم آنتی اکسیدانی مهم است: سوپراکسید دیسموتاز، گلوتاتیون پراکسیداز و کاتالاز، که همگی مسئول خنثی کردن رادیکال‌های آزاد در شروع فرآیند تولید خود هستند (سورایی ۲۰۲۰). ال-کارنیتین به دلیل خواص آنتی اکسیدانی قوی شناخته شده است (مورالی و همکاران ۲۰۲۰). نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر نشان داد که افزودن ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم ال-کارنیتین به جیره غذایی، به طور قابل توجهی فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز و ظرفیت آنتی اکسیدانی کل را بهبود می بخشد. به طور مشابه تحقیقات قبلی نشان داد که ال-کارنیتین باعث افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در مرغ‌های تخم‌گذار (چتین و گوچلو ۲۰۲۰) و جوجه‌های گوشتی (لیو و همکاران ۲۰۲۱) می شود. این یافته‌ها نشان می دهد که سوپراکسید دیسموتاز نقش مهمی در کنترل دفاع آنتی اکسیدانی ایفا می کند. افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز ممکن است با سطوح بالاتر پروتئین خون مرتبط باشد به طوری که پیشنهاد شد که در این محیط، ال-کارنیتین باعث افزایش تولید ATP و بهبود سنتز پروتئین کل، از جمله سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز شد.

مطالعه حاضر نشان داد که مکمل ال-کارنیتین در جیره غذایی منجر به کاهش سطح مالون دی‌آلدئید کبد می شود، که نشان می دهد ال-کارنیتین در سطح ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فعالیت آنتی اکسیدانی کافی برای کاهش سطح مالون دی‌آلدئید بالا را دارد. نتایج این مطالعه با نتایج عزیز و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد که افزودن

۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم ال-کارنیتین به جیره جوجه-های گوشتی به طور قابل توجهی سطوح مالون دی‌آلدئید را در سرم و کبد کاهش داد. ال-کارنیتین به عنوان یک کوفاکتور در طول انتقال اسیدهای چرب آزاد از سیتوزول به میتوکندری عمل می کند (روزپرو و سانتوس ۲۰۱۹). اسیدهای چرب آزاد از طریق بتا اکسیداسیون به آسید کوآ تجزیه می شوند و وارد چرخه اسید تری-کربوکسیلیک می شوند (رینگسز و همکاران ۲۰۱۸). سپس مقدار قابل توجهی از اکسیژن استفاده و ATP در طول زنجیره انتقال الکترون و فسفوریلاسیون اکسیداتیو تولید می شود. به دنبال چرخه اسید تری-کربوکسیلیک، اکسیژن به H_2O تبدیل می شود که غلظت اکسیژن کاهش می یابد و تولید ROS کاهش می یابد (مک کان و همکاران ۲۰۲۱). همچنین می توان گفت که ال-کارنیتین با انتقال اسیدهای چرب به میتوکندری تولید انرژی را بهبود و در دسترس بودن لیپیدها برای پراکسیداسیون را کاهش می دهد (زیدان و همکاران ۲۰۱۸)، که با این کار، سلول و میتوکندری محافظت می شوند (مدانلو و شکرزاده ۲۰۱۹).

Table 3- Effects of supplementation of L-carnitine in diets containing different levels of fish oil on antioxidant status of liver and blood serum

Treatment	Blood		Liver			
	TAC (mmol/ml)	MDA (mmol/l)	TAC (mmol/ml)	MDA (mmol/l)	GPx (mmol/dl)	SOD (µg/ml)
Fish oil						
0	1.35	2.77 ^a	1.276 ^a	0.306 ^b	5.07	16.18
1.5	1.34	2.27 ^b	1.093 ^b	0.316 ^{ab}	4.97	15.53
3	1.38	2.36 ^b	0.989 ^b	0.353 ^a	5.03	16.16
SEM	0.012	0.050	0.058	0.014	0.199	0.516
P-Value	0.111	0.004	0.041	0.047	0.212	0.299
L-Carnitine (mg/kg)						
0	1.23 ^c	2.77 ^a	1.02 ^c	0.305	4.45 ^b	14.11 ^b
300	1.36 ^b	2.42 ^b	1.14 ^b	0.337	5.22 ^a	16.01 ^a
600	1.48 ^a	2.22 ^c	1.35 ^a	0.334	5.45 ^a	17.07 ^a
SEM	0.012	0.050	0.058	0.014	0.199	0.516
P-Value	0.009	0.011	0.019	0.259	0.015	0.031
Fish oil × L-Carnitine						
0×0	1.26 ^{ab}	3.06 ^a	1.26 ^b	0.308	4.31	15.01
0×300	1.39 ^a	2.72 ^b	1.29 ^b	0.296	5.23	16.64
0×600	1.48 ^a	2.54 ^b	1.49 ^a	0.316	5.67	17.40
1.5×0	1.22 ^b	2.56 ^b	0.944 ^c	0.278	4.37	14.07
1.5×300	1.32 ^{ab}	2.08 ^a	1.19 ^b	0.332	4.97	14.90
1.5×600	1.48 ^a	2.18 ^a	1.14 ^b	0.340	4.68	14.62
3×0	1.19 ^b	2.70 ^b	0.870 ^c	0.330	4.68	15.71
3×300	1.37 ^a	2.46 ^{bc}	0.912 ^c	0.384	5.45	16.46
3×600	1.47 ^a	1.94 ^c	1.186 ^b	0.346	6.01	17.92
SEM	0.021	0.087	0.051	0.025	0.294	0.428
P-Value	0.013	0.022	0.016	0.523	0.348	0.123

^{a-c} Means in the same column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

TAC: Total antioxidant capacity; MDA: Malondialdehyde; GPx: Glutathione peroxidase; SOD: Superoxide dismutase.

میلی‌گرم ال-کارنیتین باعث کاهش غلظت کلسترول زرده و افزایش HDL سرم شد ($P < 0.05$).

هم‌راستا با نتایج حاضر، محققین گزارش کردند که تغذیه جوجه‌های گوشتی با جیره‌های حاوی سطوح بالای اسیدهای چرب امگا-۳ باعث کاهش سطح کلسترول، تری‌گلیسرید و LDL سرم شد (لانگ و همکاران ۲۰۲۰)، بطوریکه این اسیدهای چرب امگا-۳ محتویات تری-گلیسرول‌ها و لیپوپروتئین‌ها را از طریق سرکوب تری-گلیسرید و سنتز آپولیپوپروتئین B تنظیم می‌کنند (ویروس و همکاران ۲۰۰۹). علاوه بر این، اسیدهای چرب امگا-۳ می‌توانند فعالیت Δ۹-ساتوراز را مهار و سنتز کلسترول لیپوپروتئین با چگالی بسیار کم کبدی را کاهش داده و از متابولیسم تری‌گلیسرول جلوگیری کنند

فراسنجه‌های لیپیدی سرم و زرده تخم‌مرغ

جدول ۴ اثر استفاده از ال-کارنیتین در جیره‌های حاوی سطوح مختلف روغن ماهی بر فراسنجه‌های لیپیدی سرم و زرده تخم‌مرغ مرغ‌های تخم‌گذار را نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که اثر متقابل ال-کارنیتین و روغن ماهی اثرات هم‌افزایی بر غلظت تری-گلیسرید، کلسترول و LDL سرم داشتند و سطح ۱/۵ و ۳ درصد روغن ماهی همراه با ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین غلظت تری‌گلیسرید، کلسترول و LDL را به طور معنی‌دار کاهش دادند ($P < 0.05$). اثرات اصلی روغن ماهی نشان داد که ۱/۵ و ۳ درصد روغن ماهی باعث کاهش غلظت تری‌گلیسرید و کلسترول زرده تخم‌مرغ می‌شود ($P < 0.05$). اثرات اصلی ال-کارنیتین در سطح ۳۰۰ و ۶۰۰

(لانگ و همکاران ۲۰۱۸). علاوه بر موارد ذکر شده، اسیدهای چرب امگا-۳ می‌توانند بیان ژن لیپین-۱ را بهبود بخشند، که به کنترل فاکتورهای رونویسی متصل به DNA برای تنظیم رونویسی ژن لیپین-۱ کمک می‌کند، بنابراین سنتز تری‌گلیسیرید را تنظیم می‌کنند (شوایتزر و همکاران ۲۰۱۵). نشان داده شده است که روغن ماهی به عنوان شناخته شده‌ترین منبع اسیدهای چرب غیراشباع، خصوصاً ایکوزاپنتانویک اسید و دوکوزاهگزانوئیک اسید، می‌تواند فعالیت آنزیم‌های سازنده تری‌گلیسیرید در کبد، به ویژه آنزیم آسیل-کوآ:۲،۱-دی آسیل گلیسیرول اُ-آسیل ترانسفراز (تحت تأثیر ایکوزاپنتانویک اسید) را کاهش دهد (روستان و همکاران ۱۹۸۸).

بر اساس یافته‌های ما، افزودن مقادیر مختلف ال-کارنیتین به جیره مرغ‌ها به مدت هشت هفته به طور چشمگیری باعث کاهش غلظت تری‌گلیسیرید و کلسترول سرم و کلسترول کبد شد که با نتایج روحانی پور و همکارانش همخوانی دارد (روحانی پور و همکاران ۲۰۲۲). محل‌های اصلی تولید کلسترول در پرند تخمگذار کبد و تخمدان است (هو و همکاران ۲۰۲۰). در تولید کلسترول، هیدروکسی متیل‌گلوٲاتریل کوآ (HMG COA) آنزیم محدود کننده سرعت است (ماراهاتا و همکاران ۲۰۲۱). محققین تأثیر ال-کارنیتین را بر میزان بیان ژن‌های *HMGR* و کلسترول ۷ آلفا هیدروکسیلاز (*Cyp7a1*) در کبد بررسی کردند و نشان دادند که جیره-های غذایی غنی شده با ال-کارنیتین بیان ژن *HMGR* را کاهش و بیان *Cyp7a1* را افزایش دادند که در نهایت منجر به کاهش قابل توجه کلسترول سرم شد (اسکندانی و

همکاران ۲۰۲۲). بنابراین ال-کارنیتین می‌تواند با مهار فعالیت آنزیم هیدروکسی متیل‌گلوٲاتریل کوآ ردوکتاز کبدی کمک کند و تجمع کلسترول را در زرده تخم مرغ کاهش دهد. در مطالعه حاضر ال-کارنیتین به افزایش HDL کمک کرد و در عین حال LDL را کاهش داد. از آنجایی که ال-کارنیتین باعث اکسیداسیون اسیدهای چرب می‌شود، باعث افزایش تولید استیل کوآ و مهار تولید کلسترول می‌شود. در مقابل، NAD^+ یا استیل کوآ فعال می‌شود و اجازه تولید اسید صفراوی از کلسترول را می‌دهد و کاتابولیسم و دفع آن را تقویت می‌کند. افزایش تبدیل کلسترول به اسیدهای صفراوی از طریق تنظیم مثبت بیان ژن *Cyp7a1* در کبد، گامی مهم در کاهش سطح کلسترول خون است (چیانگ و فرل ۲۰۲۰). حذف کلسترول از بدن به میزان قابل توجهی با تولید و دفع اسید صفراوی مرتبط است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۹). ال-کارنیتین اسیدهای صفراوی را کاهش می‌دهد که اثر هیپوکلیسترولمی دارد. هیپاتوسیت‌ها از کلسترول اسیدهای صفراوی کولیک و دی اکسی کولیک تولید می‌کنند که به ترتیب با گلیسین و تورین کونژوگه می‌شوند. این اسیدها وارد روده کوچک می‌شوند و در آنجا جذب شده و به کبد منتقل می‌شوند. از آنجایی که کلسترول در تولید اسیدهای صفراوی استفاده می‌شود، کاهش در بازیافت اسیدهای صفراوی می‌تواند جذب و تسریع کلسترول را مهار کند و در نتیجه میزان کلسترول سرم را کاهش دهد (وانگ و همکاران ۲۰۱۹ و چنگ و همکاران ۲۰۲۰).

Table 4 - Effect of supplementation of L-carnitine in diets containing different levels of fish oil on serum and egg yolk lipid parameters in laying hens

Treatment	Blood				Egg yolk	
	Triglycerides (mg/dl)	Cholesterol (mg/dl)	HDL ¹ (mg/dl)	LDL ² (mg/dl)	Triglycerides (mg/dl)	Cholesterol (mg/dl)
(%) Fish oil						
0	2501.2 ^a	194.3 ^a	12.11	500.2 ^a	175.2 ^a	18.97 ^a
1.5	2371.2 ^b	188.7 ^b	12.52	474.2 ^b	170.04 ^b	18.10 ^b
3	2271.3 ^c	180.2 ^c	11.29	454.3 ^b	168.1 ^b	17.88 ^b
SEM	26.21	1.512	0.392	8.24	1.109	0.185
P-Value	0.023	0.033	0.052	0.012	0.019	0.048
L-Carnitine (mg/kg)						
0	2494.4 ^a	192.1 ^a	10.86 ^b	498.8 ^a	172.3	18.72 ^a
300	2354.2 ^b	188.1 ^a	12.53 ^a	470.8 ^b	171.5	18.22 ^{ab}
600	2295.3 ^b	183.1 ^b	12.46 ^a	461.1 ^b	169.7	18.03 ^b
SEM	31.46	1.637	0.427	8.11	1.109	0.235
P-Value	0.029	0.007	0.044	0.042	0.269	0.049
Fish oil × L-Carnitine						
0×0	2696.0 ^a	197.8	12.10	539.2 ^a	175.00	19.40
0×300	2516.0 ^a	196.2	12.40	503.2 ^a	176.80	18.76
0×600	2291.8 ^b	189.1	12.08	458.3 ^b	174.05	18.24
1.5×0	2422.1 ^{ab}	191.5	11.80	484.4 ^{ab}	173.20	18.16
1.5×300	2271.4 ^b	188.6	12.60	454.3 ^b	169.80	18.12
1.5×600	2420.0 ^{ab}	186.4	13.20	484.0 ^{ab}	168.80	18.10
3×0	2365.2 ^{ab}	187.4	10.80	473.1 ^{ab}	168.35	18.00
3×300	2274.8 ^b	179.8	12.60	454.9 ^b	167.90	17.70
3×600	2174.9 ^b	173.6	12.20	434.8 ^b	167.30	17.76
SEM	68.09	2.61	0.785	14.61	1.922	0.269
P-Value	0.048	0.445	0.093	0.029	0.692	0.310

^{a-c} Means in the same column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

¹ High-density lipoprotein, ² Low-density lipoprotein

نتیجه‌گیری کلی

توصیه می‌کنند. این در حالی است که بر اساس نتایج حاضر در صورت استفاده از ۳ درصد روغن ماهی استفاده از ال-کارنیتین جهت جلوگیری از پراکسیداسیون لیپید و کاهش کلسترول زرده می‌تواند مفید واقع شود.

به طور کلی با توجه به نتایج بدست آمده محققان حاضر به منظور بهره‌مندی از اثرات مثبت روغن ماهی بر عملکرد تخمگذاری و فراسنجه‌های لیپیدی خون، استفاده از ۱/۵ درصد روغن ماهی در جیره مرغ‌های تخمگذار را

References

- Agarwal A, Sengupta P and Durairajanayagam D, 2018. Role of L-carnitine in female infertility. *Reproductive Biology and Endocrinology* 16: 1-18.
- Alagawany M, Elnesr SS, Farag MR, Abd El-Hack ME, Khafaga AF, Taha AE and Dhama K, 2019. Omega-3 and omega-6 fatty acids in poultry nutrition: effect on production performance and health. *Animals* 9: 573-586.
- Al-Shammari KI, Zamil SJ and Batkowska J, 2024. The antioxidative influence of dietary creatine monohydrate and L-carnitine on laying performance, egg quality, ileal microbiota, blood biochemistry, and redox status of stressed laying quails. *Poultry Science* 103: 103166-78.

- Aziz MA, Zahra AEA, Kheder ZA and Fikry HM, 2019. The role of L. methionine, L. carnitine, choline and/or silymarin in hepatoprotection against paracetamol intoxication and oxidative stress in broilers. *Slovenian Veterinary Research* 56: 717-23
- Bahrampour H, Mohammadzadeh S and Amiri M, 2024. Impact of dietary L-carnitine supplementation on blood parameters and duodenal alterations in laying hens at the end of production. *Tissue and Cell* 91: 585-597.
- Baucells MD, Crespo N, Barroeta AC, Lopez-Ferrer S and Grashorn AM, 2000. Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs. *Poultry Science* 79: 51-59.
- Bozkurt M, Çabuk ME and Alçiçek A, 2008. Effect of dietary fat type on broiler breeder performance and hatching egg characteristics. *Journal of Applied Poultry Research* 17: 47-53.
- Çetin E and Güçlü BK, 2020. Effect of dietary l-carnitine supplementation and energy level on oxidant/antioxidant balance in laying hens subjected to high stocking density. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 104: 136-143.
- Chatzifotis S, Takeuchi T and Seikai, T. (1995). The effect of dietary L-carnitine on growth performance and lipid composition in red sea bream fingerlings. *Fisheries Science* 61: 1004-1008.
- Chiang J Y and Ferrell JM, 2020. Up to date on cholesterol 7 alpha-hydroxylase (CYP7A1) in bile acid synthesis. *Liver Research* 4: 47-63.
- Dahash BA and Sankararaman S, 2023. Carnitine deficiency. In StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing.
- Dong XF, Liu S and Tong JM, 2018. Comparative effect of dietary soybean oil, fish oil, and coconut oil on performance, egg quality and some blood parameters in laying hens. *Poultry Science* 97: 2460-2472.
- Elkomy A, Abdelhiee EY, Fadl SE, Emam MA, Gad FAM, Sallam A and Aboubakr M, 2020. L-carnitine mitigates oxidative stress and disorganization of cytoskeleton intermediate filaments in cisplatin-induced hepato-renal toxicity in rats. *Frontiers in Pharmacology* 11: 574-591.
- Eskandani M, Navidshad B, Eskandani M, Vandghanooni S, Aghjehgheshlagh FM, Nobakht and Shahbazfar AA, 2022. The effects of L-carnitine-loaded solid lipid nanoparticles on performance, antioxidant parameters, and expression of genes associated with cholesterol metabolism in laying hens. *Poultry Science* 101: 102162.
- Gao Z, Zhang J, Li F, Zheng J and Xu G, 2021. Effect of oils in feed on the production performance and egg quality of laying hens. *Animals* 11: 64-82.
- Hu Y, Feng Y, Ding Z, Lv L, Sui Y, Sun Q and Zhao R, 2020. Maternal betaine supplementation decreases hepatic cholesterol deposition in chicken offspring with epigenetic modulation of SREBP2 and CYP7A1 genes. *Poultry Science* 99: 3111-3120.
- Kalaiselvi T and Panneerselvam C, 1998. Effect of L-carnitine on the status of lipid peroxidation and antioxidants in aging rats. *The Journal of Nutritional Biochemistry* 9: 575-581.
- Kartal M, Kurucu S, Aslan Erdem S, Özbay Ö, Ceyhan T, Sayar E and Cevheroğlu Ş, 2003. Comparison of ω -3 fatty acids by GC-MS in frequently consumed fish and fish oil preparations on the Turkish market. *Fabad Journal of Pharmaceutical Sciences* 28: 201-205.
- Kazemi-Fard M, Yousefi S, Dirandeh E and Rezaei M, 2015. Effect of different levels of L-carnitine on the productive performance, egg quality, blood parameters and egg yolk cholesterol in laying hens. *Poultry Science Journal* 3: 105-111.
- Kralik G, Kralik Z, Grčević M, Galović O, Hanžek D and Biazik E, 2021. Fatty acid profile of eggs produced by laying hens fed diets containing different shares of fish oil. *Poultry Science* 100: 101379.

- Lindblom SC, Gabler NK, Bobeck EA and Kerr BJ, 2019. Oil source and peroxidation status interactively affect growth performance and oxidative status in broilers from 4 to 25 d of age. *Poultry Science* 98: 1749-1761.
- Liu Y, Yang Y, Yao R, Hu Y, Liu P, Lian S and Li S, 2021. Dietary supplementary glutamine and L-carnitine enhanced the anti-cold stress of Arbor Acres broilers. *Archives Animal Breeding* 64: 231-243.
- Long SF, Kang S, Wang Q, Xu YT, Pan L, Hu JX and Piao XS, 2018. Dietary supplementation with DHA-rich microalgae improves performance, serum composition, carcass trait, antioxidant status, and fatty acid profile of broilers. *Poultry Science* 97: 1881-1890.
- Long S, Liu S, Wu D, Mahfuz S and Piao X, 2020. Effects of dietary fatty acids from different sources on growth performance, meat quality, muscle fatty acid deposition, and antioxidant capacity in broilers. *Animals* 10: 508-521.
- Madsen KL, Preisler N, Rasmussen J, Hedermann, G, Olesen JH, Lund AM and Vissing J, 2018. L-Carnitine improves skeletal muscle fat oxidation in primary carnitine deficiency. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 103: 4580-4588.
- Mansouri E, Asghari S, Nikooei P, Yaseri M, Vasheghani-Farahani A and Hosseinzadeh-Attar MJ, 2024. Effects of virgin coconut oil consumption on serum brain-derived neurotrophic factor levels and oxidative stress biomarkers in adults with metabolic syndrome: a randomized clinical trial. *Nutritional Neuroscience* 27: 487-498.
- Marahatha R, Basnet S, Bhattarai BR, Budhathoki P, Aryal B, Adhikari B and Parajuli N, 2021. Potential natural inhibitors of xanthine oxidase and HMG-CoA reductase in cholesterol regulation: in silico analysis. *BMC Complementary Medicine and Therapies* 21: 1-11.
- Mariod AA, Mukhtar ME, Salih ME and Herwan T, 2015. Effect of addition of fish oil on the performance parameters of laying hens and the fatty acid composition of their egg yolk. *American Journal of Food Science and Health* 1: 38-42.
- McCann MR, George MV, Rosania GR and Stringer KA, 2021. L-carnitine and acylcarnitines: mitochondrial biomarkers for precision medicine. *Metabolites* 11: 51-67.
- Mirzaei M, Bouyeh M, Zahedi A, Seidavi A, Khan RU, Tufarelli V and Swelum A, 2022. Influence of dietary L-carnitine and lysine-methionine levels on reproductive performance and blood metabolic constituents of breeder ducks. *Reproduction in Domestic Animals* 57(3), 253-261.
- Modanloo M and Shokrzadeh M, 2019. Analyzing mitochondrial dysfunction, oxidative stress, and apoptosis: potential role of L-carnitine. *Iranian Journal of Kidney Diseases* 13: 74-86.
- Mosayyeb Zadeh A, Mirghelenj SA, Hasanlou P and Shakouri Alishah H, 2023. Effects of pennyroyal (*Mentha pulegium* L.) supplementation on production performance, egg quality traits, and biochemical parameters of blood and egg in laying hens at later stages of the production period. *Veterinary Medicine and Science*, 9(1), 242-251.
- Mosayyeb Zadeh AM, Mirghelenj SA, Daneshyar M, Eslami M, Torshizi MAK, Zhandi M and Nabiloo M, 2025. Dietary supplementation with 15% tomato pomace (*Solanum lycopersicum* L.) improves sperm production and antioxidant status in aged male broiler breeders. *Poultry Science*, 104(1), 104553.
- Murali P, George SK and Dominic G, 2020. Effect of dietary supplementation of L-carnitine on serum lipid profile and antioxidant status in broiler chicken fed with animal fat-rich diet. *Applied Biological Research* 22: 118-122.
- Pignatelli P, Lenti L, Sanguigni V, Frati G, Simeoni I, Gazzaniga PP and Violi F, 2003. Carnitine inhibits arachidonic acid turnover, platelet function, and oxidative stress. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* 284: 41-48.

- Ringseis R, Keller J and Eder K, 2018. Basic mechanisms of the regulation of L-carnitine status in monogastrics and efficacy of L-carnitine as a feed additive in pigs and poultry. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 102: 1686-1719.
- Roseiro LC and Santos C, 2019. Carnitines (including l-carnitine, acetyl-carnitine, and propionyl-carnitine). In *Nonvitamin and nonmineral nutritional supplements* 45-52. Academic Press.
- Rouhanipour H, Sharifi SD, Irajian GH and Jalal MP, 2022. The effect of adding L-carnitine to omega-3 fatty acid diets on productive performance, oxidative stability, cholesterol content, and yolk fatty acid profiles in laying hens. *Poultry Science* 101: 102106.
- Rustan AC, Nossen JO, Christiansen EN and Drevon CA, 1988. Eicosapentaenoic acid reduces hepatic synthesis and secretion of triacylglycerol by decreasing the activity of acyl-coenzyme A: 1, 2-diacylglycerol acyltransferase. *Journal of Lipid Research* 29: 1417-1426.
- Schweitzer GG, Chen Z, Gan C, McCommis KS, Soufi N, Chrast R and Finck BN, 2015. Liver-specific loss of lipin-1-mediated phosphatidic acid phosphatase activity does not mitigate intrahepatic TG accumulation in mice. *Journal of Lipid Research* 56: 848-858.
- Shahryari M, Tabeidian SA, Shahraki AD, Tabatabaei SN, Toghyani M, Forouzmand M and Habibian M, 2021. Using soybean acid oil or its calcium salt as the energy source for broiler chickens: Effects on growth performance, carcass traits, intestinal morphology, nutrient digestibility, and immune responses. *Animal Feed Science and Technology* 276: 114919-11435.
- Stevanović ZD, Bošnjak-Neumüller J, Pajić-Lijaković I, Raj J and Vasiljević M, 2018. Essential oils as feed additives-Future perspectives. *Molecules* 23: 1717-1732.
- Surai PF, 2020. Antioxidants in poultry nutrition and reproduction: An update. *Antioxidants* 9: 105-124.
- Suresh D and Srinivasan K, 2007. Studies on the in vitro absorption of spice principles—curcumin, capsaicin and piperine in rat intestines. *Food and Chemical Toxicology* 45: 1437-1442.
- Viveros A, Ortiz LT, Rodríguez ML, Rebolé A, Alzueta C, Arija I, Brenes A, 2009. Interaction of dietary high-oleic-acid sunflower hulls and different fat sources in broiler chickens. *Poultry Science* 88: 141-151.
- Wang G, Huang W, Xia Y, Xiong Z and Ai L, 2019. Cholesterol-lowering potentials of *Lactobacillus* strain overexpression of bile salt hydrolase on high cholesterol diet-induced hypercholesterolemic mice. *Food & Function* 10: 1684-1695.
- Wiseman J, Powles J and Salvador F, 1998. Comparison between pigs and poultry in the prediction of the dietary energy value of fats. *Animal Feed Science and Technology* 71: 1-9.
- Zidan A, Hedy SE, Elfeky D and Abdin AA, 2018. The possible anti-apoptotic and antioxidant effects of acetyl l-carnitine as an add-on therapy on a relapsing-remitting model of experimental autoimmune encephalomyelitis in rats. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 103: 1302-1311.