

اثرات افزودن ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس (*Spirulina Platensis*) به جیره‌های حاوی روغن ماهی بر عملکرد، وضعیت آنتی‌اکسیدانی و فراسنجه‌های لیپیدی خون در مرغ‌های تخم‌گذار مسن

The effects of adding *Spirulina Platensis* microalgae to diets containing fish oil on performance, antioxidant status and blood lipid parameters in old laying hens

شناسه دیجیتال (DOI)

10.22092/ASJ.2025.367921.2444

نویسنده اول

شادیہ اسعدی؛ دانشجوی دکتری تخصصی تغذیه طیور، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

Shadie Asasddi: PhD student in Poultry Nutrition, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

ایمیل: shadiasaddi@gmail.com

شماره تماس: ۰۹۳۷۵۹۱۸۲۶۳

نویسنده دوم

سیدعلی میرقلنج؛ نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

Sayed Ali mirghelenj: Corresponding Author, Associate Professor, Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

ایمیل: a_mirghelenj@yahoo.com

شماره تماس: ۰۹۱۴۴۴۶۲۷۲۱

نویسنده سوم

محسن دانشیار؛ استاد گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

Mohsen Daneshyar: Professor, Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

ایمیل: daneshyar_mohsen@yahoo.com

شماره تماس: ۰۹۱۴۱۴۰۲۷۵۹

نویسنده چهارم

علی هاشمی؛ دانشیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

Ali Hashemi: Associate Professor, Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

ایمیل: a.hashemi@urmia.ac.ir

شماره تماس: ۰۹۱۴۵۲۸۷۴۴۵

نویسنده پنجم

سینا پیوستگان؛ استادیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

Sina Payvastegan: Assistant Professor, Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

ایمیل: sina.payvastegan@yahoo.com

شماره تماس: ۰۹۱۴۵۰۸۲۱۶۰

نویسنده ششم

حامد خلیلوندی؛ دانشیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

Hamed Khalilvandi: Associate Professor, Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

ایمیل: h.khalilvandi@urmia.ac.ir

شماره تماس: ۰۹۱۴۴۱۰۶۴۸۴

اثرات افزودن ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس (*Spirulina Platensis*) به جیره‌های حاوی روغن ماهی بر عملکرد، وضعیت آنتی‌اکسیدانی و فراسنجه‌های لیپیدی خون در مرغ‌های تخم‌گذار مسن

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر مکمل سازی جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* (*Spirulina Platensis*) در جیره های حاوی سطوح مختلف روغن ماهی بر عملکرد، پارامترهای آنتی اکسیدانی خون و کبد و فراسنجه های لیپیدی سرم در مرغ های تخم گذار مسن انجام شد. بدین منظور از تعداد ۲۸۸ قطعه مرغ تخم گذار (Hy-line-W36، سن ۷۰ هفته گی) در قالب طرح فاکتوریل 2×3 ، با ۶ تکرار و ۸ قطعه پرند در هر تکرار استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل جیره های حاوی ۳ سطح روغن ماهی (صفر، ۱/۵ و ۳ درصد جیره) و ۲ سطح ریز جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* (صفر و ۵ گرم در کیلو گرم جیره) بودند. نتایج اثر متقابل روغن ماهی اسپیرولینا نشان داد که مرغ های تیمار ۱/۵ و ۳ درصد روغن ماهی با یا بدون اسپیرولینا وزن و توده تخم مرغ بیشتر و ضریب تبدیل خوراک کمتری در مقایسه با تیمار شاهد داشتند ($P < 0.05$). استفاده از ۵ گرم اسپیرولینا در جیره های حاوی ۳ درصد روغن ماهی باعث افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی کل، گلو تاتیون پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز کبد و ظرفیت آنتی اکسیدانی کل سرم نسبت به جیره حاوی ۳ درصد روغن ماهی و بدون اسپیرولینا شد ($P < 0.05$). اثر متقابل اسپیرولینا و روغن ماهی بر غلظت تری گلیسرید و LDL اثر داشت و سطح ۱/۵ و ۳ درصد روغن ماهی همراه با ۵ گرم اسپیرولینا غلظت تری گلیسرید و LDL را به طور معنی دار در مقایسه با جیره های بدون روغن ماهی کاهش دادند. به طور کلی، براساس نتایج بدست آمده، استفاده از ۱/۵ و ۳ درصد روغن ماهی در تغذیه مرغ های تخم گذار به منظور بهبود عملکرد حیوان توصیه می شود اما برای جلوگیری از اکسیداسیون لیپیدی استفاده از اسپیرولینا به عنوان آنتی اکسیدان طبیعی ضرورت دارد.

واژه های کلیدی: اسپیرولینا، روغن ماهی، کبد، مالون دی آلدئید، مرغ تخم گذار

مقدمه

اسیدهای چرب امگا-۳ به دلیل کاهش بروز بیماری های قلبی عروقی و التهابی نقش مهمی در تغذیه انسان دارند (Ebeid و همکاران، ۲۰۰۸). این بیماری ها در کشورهای خاورمیانه به دلیل مصرف چربی های حیوانی و روغن های گیاهی نیمه هیدروژنه به عنوان یک مشکل رو به افزایش مطرح هستند. غنی سازی تخم مرغ با اسیدهای چرب امگا-۳ یک استراتژی مؤثر برای تأمین عرضه کافی این اسیدهای چرب در جامعه است. تولید چنین تخم مرغ هایی با افزودن منابع رایج اسیدهای چرب غیراشباع (مانند روغن ماهی، جلبک های دریایی یا بذر کتان و غیره) به جیره مرغ های تخم گذار امکان پذیر است (Baucells و همکاران، ۲۰۰۰). روغن ماهی در جیره طیور باهدف استفاده از ظرفیت انرژی زایی و بهبود ترکیب اسیدهای چرب نوع امگا در محصول تولیدی و انتقال آنها از این طریق به مصرف کنندگان محصولات طیور گنجانده می شود. علاوه بر این اهداف، دسترسی به این فرآورده در کشورهای دارای آب های آزاد و منابع دریایی به راحتی فراهم بوده و این محصول از وفور نسبی نیز برخوردار است (میرقلنج و

همکاران، ۱۳۸۴). علاوه بر اثرات مثبت این تخم مرغ‌های غنی شده در سلامت انسان، گزارش شده است که اسیدهای چرب امگا-۳ روغن ماهی اثرات مثبتی بر عملکرد تخمدان و تعداد فولیکول‌ها دارند (Wathes و همکاران، ۲۰۰۷). طبق گزارش Cortinas و همکاران (۲۰۰۳) تغذیه مرغ‌های تخم‌گذار با جیره‌های حاوی ۴ درصد روغن ماهی، تولید تخم مرغ را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. با این حال محصولاتی که حاوی نسبت‌های بالاتری از اسیدهای چرب امگا-۳ هستند، آنها را نسبت به اکسیداسیون لیپید حساس‌تر می‌کند که یک ویژگی نامطلوب است (Baucells و همکاران، ۲۰۰۰).

بنابراین، استفاده از آنتی‌اکسیدان‌ها در جیره‌های حاوی روغن ماهی امری حیاتی به نظر می‌رسد. اسپیرولینا پلاتنسیس (*Spirulina platensis*)، یک جلبک سبز-آبی (سیانوباکتری) است که به دلیل غلظت بالای پروتئین، اسیدهای آمینه ضروری، ویتامین‌ها، مواد معدنی و مواد فعال زیستی شناخته شده است (Anvar و Nowruzzi، ۲۰۲۱). فراتر از این مواد مغذی ضروری، اسپیرولینا حاوی ترکیبی آنتی‌اکسیدانی به نام فیکوسیانین است. فیکوسیانین، یک کمپلکس رنگدانه-پروتئین موجود در اسپیرولینا، دارای خواص آنتی‌اکسیدانی قوی بوده و به خنثی کردن رادیکال‌های آزاد کمک کرده و در نتیجه از سلول‌ها در برابر آسیب اکسیداتیو محافظت می‌کند (Fernandes و همکاران، ۲۰۲۳). گزارش شده است که اسپیرولینا می‌تواند باعث کاهش استرس و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در طیور شود (Mirzaie و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین گزارش شده است که افزودن اسپیرولینا به جیره پتانسیل بهبود عملکرد، کیفیت تخم مرغ، کاهش کلسترول سرم و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی زرده تخم مرغ را دارد (Vui و همکاران، ۲۰۲۴).

با توجه به اطلاعات ارائه شده، می‌توان اظهار داشت که استفاده از روغن ماهی در جیره مرغ‌های تخم‌گذار به عنوان منبع اسیدهای چرب امگا-۳ بلند زنجیر برای تولید تخم مرغ‌های امگا-۳ و حفظ سلامت افراد جامعه اهمیت بسزایی دارد. از سوی دیگر، به دلیل بالا بودن اسیدهای چرب غیراشباع روغن ماهی، احتمال اکسید شدن لیپیدهای تخم مرغ حتی در مدت نگهداری وجود دارد که باعث تولید ترکیبات مضر و رادیکال‌های آزاد شده می‌گردد. در این شرایط، استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی نظیر ریزجلبک اسپیرولینا در کنار روغن ماهی از اهمیت خاصی برخوردار است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر مکمل سازی ریزجلبک اسپیرولینا در جیره‌های حاوی سطوح مختلف روغن ماهی بر عملکرد و پارامترهای آنتی‌اکسیدانی خون و کبد و فراسنجه‌های لیپیدی سرم در مرغ‌های تخم‌گذار مسن انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از تعداد ۲۸۸ قطعه مرغ تخم گذار (Hy-line-W36، سن ۷۰ هفتگی) استفاده شد. پرندگان با وزن بدن مشابه (1530 ± 50 گرم) با میانگین تولید تخم مرغ ۷۵ درصد انتخاب و در قالب طرح فاکتوریل 2×3 ، با ۶ تکرار و ۸ قطعه پرنده 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 ۲ سطح ریز جلبک/اسپیرولینا پلاتنسیس (صفر و ۵ گرم در کیلوگرم جیره) بودند که مطابق با توصیه‌های تغذیه‌ای سویه Hy-line-W36 در سال 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 سانتی گراد و ۴۰ تا ۵۰ درصد حفظ شدند.

پودر ریز جلبک/اسپیرولینا پلاتنسیس مورد استفاده در این آزمایش از شرکت جلبک پارس شیراز تهیه شد. مقادیر ماده خشک، خاکستر (با استفاده از کوره)، پروتئین خام (با استفاده از کج‌لدال)، چربی خام (با استفاده از سوکسله) و انرژی خام (با استفاده از بمب کالریمتر: Parr 6200 bomb calorimeter, Parr Instruments Co., Moline, IL) در آزمایشگاه تغذیه گروه علوم دامی دانشگاه و مقادیر انرژی قابل متابولیسم، کلسیم و فسفر در مرکز تحقیقات کرج اندازه گیری شد. پروفیل برخی از اسیدهای آمینه ضروری توسط خود شرکت با استفاده از HPLC استخراج شد. مقادیر ماده خشک ۸۸ درصد، خاکستر ۹ درصد، پروتئین خام ۵۵ درصد، چربی خام ۴/۵ درصد بدست آمد. مقادیر انرژی خام ۴۳۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم، انرژی قابل متابولیسم ۲۵۸۰ کیلوکالری بر کیلوگرم، کلسیم ۰/۲۵ درصد و فسفر نیز ۱/۱ درصد بدست آمد.

برای ارزیابی شاخص‌های عملکردی، 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 می‌شد. توده تخم‌مرغ، مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک به صورت هفتگی محاسبه شدند. بدین صورت که درصد تولید تخم‌مرغ با تقسیم تعداد تخم‌مرغ‌های تولید شده در هر تکرار بر روز مرغ آن محاسبه شد. توده تخم‌مرغ با ضرب میانگین وزن تخم‌مرغ هر تکرار در درصد تولید تخم‌مرغ آن بدست آمد. همچنین ضریب تبدیل خوراک با تقسیم مصرف خوراک بر توده تخم‌مرغ بدست آمد. برای تعیین هزینه خوراک به ازای هر کیلوگرم تخم‌مرغ تولیدی از رابطه زیر استفاده شد.

$$(۱) \quad \text{قیمت هر کیلوگرم خوراک مصرفی} \times \text{ضریب تبدیل خوراک} = \text{هزینه خوراک به ازای هر کیلوگرم تخم‌مرغ}$$

جدول ۱- اجزای تشکیل دهنده و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی

اقلام خوراکی (%)	جیره شاهد	۱/۵ درصد روغن ماهی	۳ درصد روغن ماهی
دانه ذرت	۶۰/۴۷	۵۷/۰۳	۵۳/۳۱

۲۶/۱۴	۲۵/۲۳	۲۵/۳۶	کنجاله سویا (۴۴٪)
۲/۰۰	۱/۰۰	-	سبوس گندم
۰/۳	۰/۳	۰/۳	روغن سویا
۳/۰۰	۱/۵۰	-	روغن ماهی
۲/۴۸	۲/۲۷	۲/۱۶	دی کلسیم فسفات
۱۱/۹۰	۱۱/۳۳	۱۰/۸۸	کربنات کلسیم
۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲	نمک طعام
۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	جوش شیرین
۰/۱۰۱	۰/۰۹۸	۰/۰۹۶	دی ال-متیونین
۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰	مکمل ویتامینه ^۱
۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰	مکمل مواد معدنی ^۲
			ترکیبات شیمیایی
۲۶۸۰	۲۶۸۰	۲۶۸۰	انرژی قابل متابولیسم (Kcal/kg)
۱۵/۵	۱۵/۵	۱۵/۵	پروتئین خام (٪)
۴/۷۵	۴/۷۵	۴/۷۵	کلسیم (٪)
۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۳۹	فسفر قابل دسترس (٪)
۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶	متیونین (٪)
۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۴	متیونین+سیستین (٪)
۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	لیزین (٪)
۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	ترئونین
۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	تریپتوفان
۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳	آرژنین
۱۹۲	۱۹۰	۱۸۸	تعادل الکترولیت‌های جیره (mEq/kg)

^۱ مقادیر ویتامین‌های تأمین شده به ازاء هر کیلو گرم خوراک: ویتامین A، ۱۰۰۰۰ IU؛ ویتامین D_۳، ۲۵۰۰ IU؛ ویتامین E، ۱۰ IU؛ ویتامین B_۱، ۲۲ mg؛ ویتامین B_۲، ۴ mg؛ ویتامین B_۳، ۸ mg؛ ویتامین B_۶، ۲ mg؛ ویتامین B_{۱۲}، ۰/۵۶ mg؛ ویتامین C، ۱۵۰ mg؛ کوکین، ۲۰۰ mg.

^۲ مقادیر مواد معدنی تأمین شده به ازاء هر کیلو گرم خوراک: منگنز، ۸۰ mg؛ آهن، ۵۰ mg؛ روی، ۶۰ mg؛ مس، ۱۲ mg؛ سدیم سلنیت، ۰/۳ mg.

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 سانتی‌فیوژ شدند. نمونه‌ها در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه بیوشیمیایی مرکز تحقیقات دارویی 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 و به آزمایشگاه ارسال شد. نمونه‌ها (کبد و سرم) با استفاده از دستگاه آنالیز خودکار

(Authoanalyser؛ مدل Bayer، Technicon RA 1000) و کیت‌های تهیه شده از شرکت پارس آزمون مورد آزمایش قرار گرفتند. برای ارزیابی چربی‌های خون (شامل کلسترول، تری‌گلیسرید، LDL، HDL و اسیدهای چرب استریفه نشده)، برای فراسنجه‌های آنتی‌اکسیدانی سرم (ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی و فعالیت مالون دی‌آلدئید) و کبد (ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی، فعالیت مالون دی‌آلدئید، آنزیم گلوکوتاتیون پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز) از روش‌های توصیه شده توسط شرکت سازنده کیت‌ها (پارس آزمون) استفاده شد.

داده‌های حاصل از این آزمایش در قالب یک آزمون فاکتوریل 3×2 توسط نرم‌افزار SAS و با رویه Mixed مورد تجزیه آماری قرار گرفت (SAS, 2009).

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

در معادله مذکور μ میانگین کل، A_i اثر سطح i ام روغن ماهی، B_j اثر سطح j ام اسپیرولینا، AB_{ij} اثر متقابل سطح روغن ماهی و اسپیرولینا 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

جدول ۲ اثرات استفاده از اسپیرولینا پلاتنسیس در جیره‌های حاوی سطوح مختلف روغن ماهی بر عملکرد مرغ‌های تخم‌گذار مسن را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که وزن و توده تخم‌مرغ تحت تأثیر اثرات متقابل روغن ماهی $\times$ اسپیرولینا قرار گرفت. مرغ‌های تغذیه شده با $1/5$ و 3 درصد روغن ماهی به همراه صفر و 5 گرم اسپیرولینا بیشترین توده تخم‌مرغ را داشتند که به‌طور معنی‌دار از تیمار شاهد بیشتر بود ($P < 0/05$). همچنین، مرغ‌های دریافت‌کننده 3 درصد روغن ماهی به همراه صفر و 5 گرم اسپیرولینا بیشترین وزن تخم‌مرغ را داشتند ($P < 0/05$). علاوه بر این، استفاده از $1/5$ و 3 درصد روغن ماهی به‌طور معنی‌داری باعث کاهش ضریب تبدیل خوراک نسبت به تیمار شاهد شد ($P < 0/05$). نتایج هزینه خوراک به ازای هر کیلوگرم تخم‌مرغ تولیدی نشان داد که استفاده از 5 گرم اسپیرولینا همراه با $1/5$ و 3 درصد روغن ماهی و همچنین 3 درصد روغن ماهی بدون اسپیرولینا علاوه بر بهبود توده تخم‌مرغ باعث افزایش هزینه خوراک به ازای هر کیلوگرم تخم‌مرغ شدند ($P < 0/05$).

جدول ۲- اثرات استفاده از اسپیرولینا پلاتنسیس در جیره‌های حاوی سطوح مختلف روغن ماهی بر عملکرد مرغ‌های تخم‌گذار در سن ۷۰-۷۸

هفتگی

اثرات	تولید تخم مرغ (درصد)	وزن تخم مرغ (گرم)	توده تخم مرغ (گرم)	مصرف خوراک (گرم)	ضریب تبدیل خوراک	هزینه به ازای هر کیلوگرم تخم مرغ (تومان)
روغن ماهی (%)						
صفر	۷۳/۰۱	۵۹/۸۴ ^b	۴۳/۶۹ ^b	۹۳/۸۵	۲/۱۵ ^a	۴۰۹۲۱/۳۵ ^b
۱/۵	۷۳/۶۷	۶۱/۰۹ ^a	۴۵/۰۱ ^a	۹۴/۱۰	۲/۰۹ ^b	۴۲۲۵۴/۷۱ ^{ab}
۳	۷۴/۲۸	۶۱/۴۹ ^a	۴۵/۶۷ ^a	۹۳/۹۵	۲/۰۶ ^b	۴۴۰۳۸/۲۱ ^a
خطای استاندارد	۰/۴۱	۰/۱۳	۰/۲۸	۰/۱۳	۰/۰۱	۴۳۹/۶۴
درصد احتمال	۰/۱۲	۰/۰۰۹	۰/۰۱	۰/۴۴	۰/۰۰۶	۰/۰۱
اسپیروولینا پلاتنسیس (g/kg)						
صفر	۷۳/۳۰	۶۰/۵۶ ^b	۴۴/۴۰ ^b	۹۳/۸۶	۲/۱۲	۴۱۶۳۱/۶۷ ^b
۵	۷۴/۰۰	۶۱/۰۵ ^a	۴۵/۱۸ ^a	۹۴/۰۶	۲/۰۸	۴۳۱۷۷/۲۶ ^a
خطای استاندارد	۰/۳۳	۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۱۱	۰/۰۱	۴۱۵/۸۱
درصد احتمال	۰/۱۵	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۲۱	۰/۰۶	۰/۰۲
روغن ماهی × اسپیروولینا پلاتنسیس						
صفر × صفر	۷۲/۳۵	۵۹/۱۵ ^c	۴۲/۸۰ ^b	۹۳/۹۰	۲/۱۹	۴۰۶۱۱/۲۴ ^b
صفر × ۵	۷۳/۶۶	۶۰/۵۳ ^{bc}	۴۴/۵۹ ^{ab}	۹۳/۸۰	۲/۱۱	۴۱۲۳۱/۴۷ ^b
۱/۵ × صفر	۷۳/۵۵	۶۱/۱۳ ^b	۴۴/۹۷ ^a	۹۳/۹۰	۲/۰۹	۴۱۱۶۰/۵۶ ^b
۱/۵ × ۵	۷۳/۸۰	۶۱/۰۵ ^b	۴۵/۰۵ ^a	۹۴/۳۰	۲/۰۹	۴۳۳۴۸/۸۰ ^a
۳ × صفر	۷۴/۰۰	۶۱/۳۹ ^a	۴۵/۴۳ ^a	۹۳/۸۰	۲/۰۶	۴۳۱۲۳/۶۶ ^a
۳ × ۵	۷۴/۵۴	۶۱/۵۸ ^a	۴۵/۹۵ ^a	۹۴/۱۰	۲/۰۵	۴۴۹۵۳/۵۰ ^a
خطای استاندارد	۰/۵۸	۰/۱۹	۰/۳۹	۰/۱۹	۰/۰۲	۶۲۸/۳۷
درصد احتمال	۰/۶۴	۰/۰۲	۰/۰۰۸	۰/۴۰	۰/۰۷	۰/۰۰۱

^{a-c}: میانگین‌های هر ستون برای هر عامل که دارای حرف غیرمشترک می‌باشند، اختلاف معنی‌داری دارند ($P < 0.05$).

اثر متقابل اسپیروولینا پلاتنسیس و سطح روغن ماهی تاثیر معنی‌داری بر تمامی پارامترهای آنتی‌اکسیدانی کبد و سرم داشت (جدول ۳). استفاده از ۵ گرم اسپیروولینا در جیره‌های حاوی صفر، ۱/۵ و ۳ درصد روغن ماهی باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، گلوتاتیون پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز کبد و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل سرم

نسبت به جیره حاوی ۳ درصد روغن ماهی و بدون اسپرولینا شدند ($P < 0/05$). همچنین میزان مالون دی آلدئید سرم و کبد در تیمار حاوی ۱/۵ و ۳ درصد روغن ماهی بدون اسپرولینا نسبت به جیره‌های حاوی اسپرولینا افزایش یافت و افزودن اسپرولینا به جیره‌های ۱/۵ و ۳ درصد روغن ماهی توانست این افزایش ناشی از روغن ماهی را جبران کند ($P < 0/05$).

جدول ۳- اثرات استفاده از اسپرولینا در جیره‌های حاوی سطوح مختلف روغن ماهی بر پارامترهای آنتی اکسیدانی کبد و سرم خون

اثرات	کبد			خون	
	SOD ($\mu\text{g/ml}$)	GP _x (mmol/ml)	MDA (mmol/ml)	TAC (mmol/ml)	MDA (mmol/ml)
روغن ماهی (%)					
صفر	۱۵/۸۸	۴/۸۹ ^b	۰/۳۴ ^b	۱/۴۹ ^a	۲/۴۸ ^b
۱/۵	۱۶/۳۲	۵/۲۴ ^{ab}	۰/۴۴ ^{ab}	۱/۰۸ ^{ab}	۲/۴۹ ^b
۳	۱۴/۸۴	۵/۳۴ ^b	۰/۴۸ ^a	۰/۹۷ ^b	۲/۷۱ ^a
خطای استاندارد	۰/۵۴	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۶
درصد احتمال	۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۳	۰/۰۴
اسپرولینا پلاتنسیس (g/kg)					
صفر	۱۳/۵۹ ^b	۴/۸۱ ^b	۰/۴۶ ^a	۱/۰۱ ^b	۲/۹۰ ^a
۵	۱۷/۴۳ ^a	۵/۵۱ ^a	۰/۳۶ ^b	۱/۲۸ ^a	۲/۱۶ ^b
خطای استاندارد	۰/۴۴	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۵
درصد احتمال	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱
روغن ماهی × اسپرولینا پلاتنسیس					
صفر × صفر	۱۴/۷۳ ^{ab}	۴/۷۱ ^b	۰/۳۲ ^{bc}	۱/۳۴ ^b	۲/۶۴ ^{ab}
صفر × ۵	۱۷/۰۳ ^a	۵/۰۷ ^a	۰/۲۸ ^c	۱/۶۵ ^a	۲/۱۲ ^b
صفر × ۱/۵	۱۳/۳۲ ^b	۴/۹۵ ^{ab}	۰/۵۱ ^a	۰/۹۳ ^c	۲/۹۸ ^a
۵ × ۱/۵	۱۴/۳۷ ^{ab}	۵/۵۳ ^a	۰/۳۸ ^b	۱/۲۳ ^b	۲/۰۴ ^b
۳ × صفر	۱۲/۷۵ ^b	۴/۷۵ ^b	۰/۵۶ ^a	۰/۸۴ ^c	۳/۰۸ ^a
۵ × ۳	۱۷/۸۹ ^a	۵/۹۲ ^a	۰/۴۱ ^b	۱/۱۰ ^b	۲/۳۴ ^b
خطای استاندارد	۰/۹۶	۰/۱۷	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۸
درصد احتمال	۰/۰۰۸	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴

^۱ مخفف‌ها: TAC، ظرفیت آنتی اکسیدانی کل؛ MDA، مالون دی آلدئید؛ GP_x، گلو تاتیون پراکسیداز؛ SOD، سوپراکسید دیسموتاز.
^{a-c}: میانگین‌های هر ستون برای هر عامل که دارای حرف غیر مشترک می‌باشند، اختلاف معنی‌داری دارند ($P < 0/05$).

جدول ۴ اثرات استفاده از اسپرولینا پلاتنسیس در جیره‌های حاوی سطوح مختلف روغن ماهی بر فراسنجه‌های لیپیدی سرم مرغ‌های تخم‌گذار مسن را نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که اثر متقابل اسپرولینا

پلاتنسیس و روغن ماهی بر غلظت تری گلیسرید، کلسترول و LDL اثر معنی دار داشت و سطح ۱/۵ و ۳ درصد روغن ماهی همراه با ۵ گرم اسپیرولینا غلظت تری گلیسرید و LDL را به طور معنی دار در مقایسه با جیره های بدون روغن ماهی کاهش دادند. همچنین سطح ۳ درصد روغن ماهی همراه با اسپیرولینا باعث کاهش غلظت کلسترول سرم نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی شد ($P<0/05$). علاوه بر این، ۳ درصد روغن ماهی باعث افزایش HDL و کاهش اسیدهای چرب استریفه نشده شد ($P<0/05$).

جدول ۴- اثر استفاده از اسپیرولینا در جیره های حاوی سطوح مختلف روغن ماهی بر فراسنجه های لیپیدی سرم مرغ های تخم گذار

اثرات	تری گلیسرید (mg/dl)	کلسترول (mg/dl)	HDL (mg/dl)	LDL (mg/dl)	NEFA (mg/dl)
روغن ماهی (%)					
صفر	۲۶۰۶/۱ ^a	۱۹۷/۸۰ ^a	۹/۸۰ ^b	۵۲۱/۰ ^a	۱/۷۵ ^a
۱/۵	۲۳۵۰/۰ ^b	۱۹۴/۷۰ ^a	۱۰/۷۰ ^b	۴۷۰/۰ ^b	۱/۶۱ ^b
۳	۲۲۶۸/۹ ^c	۱۸۱/۸۰ ^b	۱۲/۲۰ ^a	۴۵۳/۶ ^c	۱/۱۹ ^c
خطای استاندارد	۲۶/۱۲	۲/۴۴	۰/۳۴	۵/۲۲	۰/۰۴
درصد احتمال	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴
اسپیرولینا پلاتنسیس (g/kg)					
صفر	۲۵۰۰/۷ ^a	۱۹۲/۸۶	۱۰/۸۰	۵۰۰/۱ ^a	۱/۵۲
۵	۲۳۱۶/۰ ^b	۱۸۹/۴۶	۱۱/۰۱	۴۶۳/۲۰ ^b	۱/۴۷
خطای استاندارد	۲۱/۳۳	۱/۹۹	۰/۲۸	۴/۲۶	۰/۰۳
درصد احتمال	۰/۰۱	۰/۲۴	۰/۶۱	۰/۰۴	۰/۴۱
روغن ماهی × اسپیرولینا پلاتنسیس					
صفر × صفر	۲۷۱۶/۰ ^a	۱۹۸/۲۰ ^a	۸/۸۰	۵۴۳/۲ ^a	۱/۷۹
صفر × ۵	۲۴۹۶/۱ ^a	۱۹۷/۴۴ ^a	۱۰/۸۰	۴۹۹/۲ ^a	۱/۷۱
صفر × ۱/۵	۲۴۰۲/۹ ^{ab}	۱۹۱/۷۰ ^a	۱۱/۲۰	۴۸۰/۴ ^{ab}	۱/۶۹
۵ × ۱/۵	۲۲۹۸/۱ ^b	۱۹۸/۰۰ ^a	۱۰/۲۰	۴۵۹/۶ ^b	۱/۵۷
صفر × ۳	۲۳۸۲/۰ ^{ab}	۱۸۹/۰۲ ^a	۱۲/۴۰	۴۷۶/۴ ^{ab}	۱/۰۹
۵ × ۳	۲۱۵۶/۴ ^b	۱۷۳/۹۶ ^b	۱۲/۰۰	۴۳۰/۸ ^b	۱/۱۴
خطای استاندارد	۳۶/۹۴	۳/۴۶	۰/۴۸	۷/۳۹	۰/۲۶
درصد احتمال	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۰۰۳	۰/۴۱

۱ مخفف ها: LDL، لیپوپروتئین های کم چگال؛ HDL، لیپوپروتئین های پُر چگال؛ NEFA، اسیدهای چرب استریفه نشده.

^{a-c}: میانگین های هر ستون برای هر عامل که دارای حرف غیر مشترک می باشند، اختلاف معنی داری دارند ($P<0/05$).

در مطالعه حاضر استفاده از جیره‌های حاوی ۱/۵ و ۳ درصد روغن ماهی باعث بهبود وزن و توده تخم‌مرغ و همچنین بهبود ضریب تبدیل خوراک شد. در توافقی با یافته‌های پژوهش حاضر، مطالعات اخیر با استفاده از ۱/۲ و ۱/۵ درصد روغن ماهی در جیره مرغ‌های تخم‌گذار، بهبود وزن تخم‌مرغ را گزارش نمودند (Kralik و همکاران، ۲۰۲۱). Shahryari و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه خود با اندازه‌گیری قابلیت هضم ظاهری تصحیح شده برای ازت در روغن ماهی و سویا، تأثیر افزایش انرژی قابل متابولیسم بر بهبود عملکرد حیوان را تأیید کردند. آن‌ها همچنین بر اساس ارزیابی وضعیت بافت شناسی روده اعلام داشتند که بهتر شدن افزایش وزن بدن جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با 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. محققان با اشاره به سه وظیفه اصلی دستگاه گوارش، یعنی هضم، جذب و جلوگیری از نفوذ عوامل بیماری‌زا به بدن، که تقریباً ۲۵ درصد میزان انرژی مصرف شده را به خود اختصاص می‌دهد (Hamard و همکاران، ۲۰۱۰)، اظهار داشتند که استفاده از منابع چربی، به دلیل کاهش سرعت عبور مواد خوراکی و ادامه فرآیند هضم و جذب مواد مغذی تا قسمت‌های انتهایی روده، میزان انرژی و خصوصاً برخی از اسیدهای چرب ضروری مورد نیاز سلول‌های تمام قسمت‌های روده را فراهم کرده و به توسعه فیزیولوژیکی و عملکرد بهتر دستگاه گوارش کمک می‌کند (Swiatkiewicz و همکاران، ۲۰۱۵). بنابراین، در آزمایش حاضر روغن ماهی در سطح ۱/۵ و ۳ درصد احتمالاً به دلیل فراهم کردن نسبت مطلوب‌تری از انرژی و به تبع آن اسید چرب لینولئیک اسید به همراه بهبود بافت شناسی روده و هضم و جذب مواد مغذی (از طریق کاهش سرعت عبور مواد در روده باریک) موجب بهبود عملکرد مرغ‌های تخم‌گذار مسن شد.

همانطور که انتظار می‌رفت مکمل اسپیرولینا به دلیل حمایت آنتی‌اکسیدانی، اثرات هم‌افزایی با روغن کتان داشت و باعث افزایش درصد تولید، وزن و توده تخم‌مرغ شد. موافق با نتایج حاضر محققین بهبود در ضریب تبدیل خوراک، وزن تخم‌مرغ و تولید تخم‌مرغ را در مرغ‌های تغذیه‌شده با جیره حاوی ۲ درصد اسپیرولینا گزارش کردند (Panaite و همکاران، ۲۰۲۳). این اثرات مثبت اسپیرولینا را می‌تواند به دلیل فراهم کردن برخی ترکیبات فعال زیستی (ترکیبات فعال زیستی مانند β -کاروتن و γ -لینولئیک اسید) و آنتی‌اکسیدان‌ها در این ریزجلبک نسبت داد (Anvar و Nowruzi، ۲۰۲۱). در پژوهشی مشابه (Salahuddin و همکاران، ۲۰۲۴) مرغ‌های تخم‌گذار تغذیه‌شده با ۲/۵ و ۵ گرم بر کیلوگرم اسپیرولینا، وزن تخم‌مرغ و تولید تخم‌مرغ را بهبود بخشیدند و پژوهشگران مذکور گزارش کردند که مواد مغذی موجود در اسپیرولینا ممکن است تخمدان‌ها را تحریک کرده و باعث رشد تخمک‌های بزرگتر شده باشد، که به ویژه برای تولیدکنندگان تخم‌مرغ که به دنبال برآوردن نیازهای اندازه بازار خاص هستند، مفید است.

نتایج ارزیابی فراسنجه‌های خونی مرغ‌های تخم‌گذار مورد مطالعه حاضر نشان داد که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در کبد با جیره حاوی ۳ درصد روغن ماهی کاهش پیدا کرد اما میزان مالون دی‌آلدئید سرم و کبد در گروه تغذیه شده با جیره حاوی ۱/۵ و ۳ روغن ماهی بطور معنی‌داری بیشتر از گروه شاهد بود. نتایج حاضر، موافق یافته‌های مطالعات پیشین انجام شده با استفاده از ۸ درصد روغن ماهی در جیره مرغ‌های تخم‌گذار جوان با سن ۲۸ هفته بود که در آن محققان افزایش میزان مالون دی‌آلدئید سرم را گزارش کردند (Dong 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 بوده و به دلیل اختلال در این بافت متابولیسم پروتئین‌ها نیز مختل شده است. متأسفانه مطالعات محدودی اثر روغن ماهی بر مالون دی‌آلدئید سرم و کبد مرغ‌های تخم‌گذار تغذیه شده با روغن ماهی را مورد بررسی قرار داده‌اند. در جدیدترین مطالعات انجام شده افزایش مالون دی‌آلدئید زرده تخم‌مرغ به دلیل افزایش اسیدهای چرب غیراشباع در مقایسه با گروه شاهد (حاوی ۵ درصد روغن سویا) مشاهده شد که این امر به دلیل افزایش محتوای اسیدهای چرب غیراشباع در زرده تخم‌مرغ‌های تولید شده توسط مرغ‌های تخم‌گذار تغذیه شده با روغن ماهی بود. چرا که اسیدهای چرب غیراشباع شدیداً مستعد اکسیداسیون بوده و از این رو میزان ترکیبات تیوباربتوریک اسید یا همان مالون دی‌آلدئید زرده تخم‌مرغ‌های تازه و تخم‌مرغ‌های ذخیره شده در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۲۸ روز را افزایش داد (Kralik و همکاران، ۲۰۲۰؛ ۲۰۲۱). به عقیده محققان افزایش اسیدهای چرب غیراشباع، به ویژه اسیدهای چرب دوکوزاهگزانوئیک اسید، ایکوزاپنتانوئیک اسید و حتی لینولئیک اسید، در جیره مرغ‌های تخم‌گذار می‌تواند موجب افزایش نرخ اکسیداسیون سلولی در بدن می‌شود (Spolaore و همکاران، ۲۰۰۶). Surai و Sparks (۲۰۰۰) نیز نشان دادند که جیره حاوی روغن ماهی باعث افزایش شاخص اکسیداسیون در اکثر بافت‌های خروس می‌شود، زیرا تجمع تیوباربتوریک اسید منجر به افزایش پراکسیداتیو لیپید می‌شود. در مطالعه حاضر، استفاده از ۳ درصد روغن ماهی در جیره مرغ‌های تخم‌گذار مسن باعث کاهش فعالیت گلوکاتایون پراکسیداز کبد شد. این نتیجه مورد انتظار بود، زیرا مصرف محصولات پراکسیداسیون لیپیدی می‌تواند سیستم‌های آنتی-اکسیدانی را در داخل بدن فعال کنند. در نتیجه، زمانی که این سیستم آنتی‌اکسیدانی تحت تأثیر قرار گیرد، کاهش فعالیت گلوکاتایون پراکسیداز در مرغ‌های تخم‌گذار تغذیه شده با روغن ماهی توجیه‌پذیر است. این یافته مطابق با آزمایشی است که در خوک انجام شد که در آن خوک‌هایی که با روغن ماهی تغذیه می‌شدند، فعالیت گلوکاتایون پراکسیداز پلاسما را کاهش دادند (Boyer و همکاران، ۲۰۱۲).

تأثیر منفی پراکسیداسیون بر طیور عمدتاً با اختلال در وضعیت ردوکس همراه است (Akbarian و همکاران، ۲۰۱۶). نتایج کنونی نشان داد که افزایش در مالون دی‌آلدئید سرم و کبد که شاخص‌های استرس اکسیداتیو است، با اضافه شدن اسپیرولینا به جیره‌های حاوی روغن ماهی دوباره کاهش یافت، در حالی که فعالیت گلوکاتایون پراکسیداز

و ظرفیت آنتی اکسیدانی کل افزایش یافتند. ظرفیت اسپرولینا برای بازگرداندن تعادل ردوکس در جیره‌های حاوی روغن ماهی را می‌توان به ترکیبات آنتی اکسیدانی فعال زیستی آن مانند فلاونوئیدها و پلی فنول‌ها و سایر آنتاگونیست‌های رادیکال‌های آزاد مانند α -توکوفرول، اسید اسکوریک، بتا کاروتن و سلنیوم نسبت داد (Agustini و همکاران، ۲۰۱۵) که نشان‌دهنده انتقال احتمالی ترکیبات آنتی اکسیدانی اسپرولینا به ارگان‌های مرغ است. موافق با نتایج ما، مطالعه Panaite و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که افزودن اسپرولینا به جیره، بهبود قابل توجهی در فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی (سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گلوتاتیون پراکسیداز) و ظرفیت آنتی اکسیدانی کل نشان دادند. بهبود سطح مالون دی آلدئید، گلوتاتیون پراکسیداز و ظرفیت آنتی اکسیدانی توسط اسپرولینا در جیره‌های حاوی روغن ماهی از این واقعیت حمایت می‌کند که این ترکیبات زیست فعال می‌توانند به طور موثری از سلول‌های کبدی در برابر رادیکال‌های آزاد تولید شده توسط پراکسیداسیون لیپیدی محافظت کنند و بنابراین قدرت آنتی اکسیدانی و سلامت سلول را افزایش دهند (Akila و همکاران، ۱۹۹۸). بنابراین مطالعه حاضر شواهدی را نشان می‌دهد که اسپرولینا می‌تواند به خون و کبد مرغ‌های تخم‌گذار نفوذ کرده و به طور موثر از اکسیداسیون لیپیدها جلوگیری کند.

نتایج مطالعه حاضر کاهش سطح کلسترول، تری گلیسرید، LDL و اسیدهای چرب استریفه نشده سرم را در اثر استفاده از ۱/۵ و ۳ درصد روغن ماهی نشان داد. هم‌راستا با نتایج حاضر، محققین گزارش کردند جوجه‌های گوشتی که جیره‌های حاوی منابع سطح بالای اسیدهای چرب امگا-۳ دریافت کردند، کلسترول، تری گلیسرید و LDL سرم کمتری را نشان دادند (Long و همکاران، ۲۰۲۰)، که ممکن است به دلیل سطح بالای اسیدهای چرب امگا-۳ باشد که محتویات تری گلیسرول‌ها و لیپوپروتئین‌ها را از طریق سرکوب تری گلیسرید و سنتز آپولیپوپروتئین B تنظیم می‌کند (Viveros و همکاران، ۲۰۰۹). علاوه بر این، اسیدهای چرب امگا-۳ می‌تواند فعالیت $\Delta 9$ -دساتوراز را مهار کنند، و تبدیل سنتز کلسترول لیپوپروتئین با چگالی بسیار کم کبدی را کاهش داده و از متابولیسم تری گلیسرول جلوگیری کنند (Long و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین، اسیدهای چرب امگا-۳ می‌توانند بیان ژن لیپین-۱ را بهبود بخشند، که به کنترل فاکتورهای رونویسی متصل به DNA برای تنظیم رونویسی ژن کمک می‌کند، بنابراین سنتز تری گلیسرید را تنظیم می‌کنند (Schweitzer و همکاران، ۲۰۱۵). روغن ماهی به عنوان شناخته شده‌ترین منبع اسیدهای چرب غیراشباع، خصوصاً ایکوزاپنتانوئیک اسید و دوکوزاهگزانوئیک اسید، نشان داده شده است که فعالیت آنزیم‌های سازنده تری گلیسرید در کبد، به ویژه آنزیم آسیل-کوآ:۱،۲-دی آسیل گلیسرول اُ-آسیل ترانسفراز (تحت تأثیر ایکوزاپنتانوئیک اسید) را کاهش می‌دهد (Rustan و همکاران، ۱۹۸۸). در همین راستا، Hall و همکاران (۲۰۰۷) کاهش اسیدهای چرب استریفه نشده خون مرغ‌های تخم‌گذار نیوهمشایر تغذیه شده با افزایش

سطح روغن ماهی (که جایگزین روغن دانه آفتابگردان شده بودند)، به ویژه گروه تغذیه شده با ۳ درصد روغن ماهی، را ناشی از افزایش اسیدهای چرب ایکوزاپنتانوئیک اسید پلاسما دانستند.

استفاده از ۵ گرم اسپرولینا نیز در جیره‌های با یا بدون روغن ماهی باعث کاهش سطوح کلسترول، تری‌گلیسرید و LDL شد. چنین اثر هیپوکلسترولمی اسپرولینا در مطالعات قبلی بر روی موش‌های آزمایشگاهی (El-Moataaz و همکاران، ۲۰۱۹) و به طور خاص بر روی جوجه‌های گوشتی نشان داده شد (Mirzaie و همکاران، ۲۰۱۸). Deng و Chow (۲۰۱۰) گزارش دادند که اسپرولینا حاوی اسید ۷-لینولئیک است که به متابولیت‌های کلسترول در صفرا متصل می‌شود و از تجمع آن جلوگیری می‌کند. همچنین محققین بیان کردند که کاهش سطح کلسترول ممکن است با اثرات بازدارنده اسپرولینا بر فعالیت ردوکتاز HMG-CoA که یک آنزیم آلوستریک مورد نیاز برای سنتز کلسترول در کبد است، مرتبط باشد (Mousavi و همکاران، ۲۰۱۷). در رابطه با کاهش تری‌گلیسرید نیز محققین بر این باورند که مهار آنزیم سنتز استیل کوآ توسط اسپرولینا، که برای بیوسنتز اسیدهای چرب ضروری است، باعث کاهش تری‌گلیسرید شده است (Pitman و همکاران، ۱۹۹۸). نتایج هزینه خوراک به ازای هر کیلوگرم تخم‌مرغ

تولیدی نیز نشان داد که استفاده از ۵ گرم اسپرولینا همراه با ۱/۵ و ۳ درصد روغن ماهی و همچنین ۳ درصد روغن ماهی بدون اسپرولینا باعث افزایش هزینه خوراک به ازای هر کیلوگرم تخم‌مرغ شدند. با توجه به اینکه هزینه خوراک به ازای هر کیلوگرم تخم‌مرغ تولیدی تحت تاثیر ضریب تبدیل خوراک قرار می‌گیرد، این نتایج قابل انتظار بود. با این حال بهبود عملکرد تولیدی تنها هدف پژوهش حاضر نبود و کاهش کلسترول زرده تخم‌مرغ و بهبود پروفایل اسیدهای چرب زرده تخم‌مرغ از دیگر اهداف پژوهش حاضر بودند که نتایج آنها در این مطالعه گزارش نشده است.

نتیجه‌گیری نهایی

به طور کلی با توجه به نتایج بدست آمده، محققان حاضر به منظور بهره‌مندی از اثرات مثبت روغن ماهی بر عملکرد و فراسنجه‌های لیپیدی خون و به عبارت بهتر حمایت از حیوان در انتهای دوره تخم‌گذاری، استفاده از ۱/۵ و ۳ درصد روغن ماهی در جیره مرغ‌های تخم‌گذار را توصیه می‌کنند. این در حالی است که بر اساس نتایج حاضر در صورت استفاده از ۳ درصد روغن ماهی به همراه جلبک اسپرولینا پلاتنسیس به عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی جهت جلوگیری از اکسیداسیون لیپید حیاتی می‌باشد.

میرقلنج، س.ع.، رحیمی، ش.، برزگر، م. و کمالی، م.ع. (۱۳۸۴). مقایسه منابع مختلف اسیدهای چرب امگا-۳ جهت غنی سازی تخم مرغ. مجله دانشکده دامپزشکی دانشگاه تهران، ۱(۶۰): ۸۷-۹۱.

Agustini, T. W., Suzery, M., Sutrisnanto, D. and Maruf, W. F. (2015). Comparative study of bioactive substances extracted from fresh and dried Spirulina. *Procedia Environmental Sciences*, 23(4): 282-289.

Akbarian, A., Michiels, J., Degroote, J., Majdeddin, M., Golian, A. and De Smet, S. (2016). Association between heat stress and oxidative stress in poultry; mitochondrial dysfunction and dietary interventions with phytochemicals. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 7(2): 1-14.

Akila, G., Rajakrishnan, V., Viswanathan, P., Rajashekaran, K. N. and Menon, V. P. (1998). Effects of curcumin on lipid profile and lipid peroxidation status in experimental hepatic fibrosis. *Hepatology Research*, 11(3): 147-157.

Anvar, A. A. and Nowruzi, B. (2021). Bioactive properties of spirulina: A review. *Bioactive Materials*, 4(1): 134-142.

Baucells, M. D., Crespo, N., Barroeta, A. C., Lopez-Ferrer, S. and Grashorn, A. M. (2000). Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs. *Poultry Science*, 79(1): 51-59.

Boler, D. D., Fernández-Dueñas, D. M., Kutzler, L. W., Zhao, J., Harrell, R. J., Campion, D. R. and Dilger, A. C. (2012). Effects of oxidized corn oil and a synthetic antioxidant blend on performance, oxidative status of tissues, and fresh meat quality in finishing barrows. *Journal of Animal Science*, 90(13): 5159-5169.

Cortinas, L., Galobart, J., Barroeta, A. C., Baucells, M. D. and Grashorn, M. A. (2003). Change in α -tocopherol contents, lipid oxidation and fatty acid profile in eggs enriched with linolenic acid or very long-chain ω 3 polyunsaturated fatty acids after different processing methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(8): 820-829.

Deng, R. and Chow, T. J. (2010). Hypolipidemic, antioxidant, and antiinflammatory activities of microalgae Spirulina. *Cardiovascular Therapeutics*, 28(4): 33-45.

Dong, X. F., Liu, S. and Tong, J. M. (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(7): 2460-2472.

Ebeid, T., Eid, Y., Saleh, A. and Abd El-Hamid, H. (2008). Ovarian follicular development, lipid peroxidation, antioxidative status and immune response in laying hens fed fish oil-supplemented diets to produce n-3-enriched eggs. *Animal*, 2(1): 84-91.

El-Moataaz, S., Ismael, H. and Aborhyem, S. (2019). Assessment of chemical composition of Spirulina platensis and its effect on fasting blood glucose and lipid profile in diabetic Rats. *Journal of High Institute of Public Health*, 49(3): 199-211.

- Fernandes, R., Campos, J., Serra, M., Fidalgo, J., Almeida, H., Casas, A. and Barros, A. I. (2023). Exploring the benefits of phycocyanin: From *Spirulina* cultivation to its widespread applications. *Pharmaceuticals*, 16(4): 592-606.
- Hall, J. A., Jha, S. and Cherian, G. (2007). Dietary n-3 fatty acids decrease the leukotriene B4 response ex vivo and the bovine serum albumin-induced footpad swelling index in New Hampshire hens. *Canadian Journal of Animal Science*, 87(3): 373-380.
- Hamard, A., Mazurais, D., Boudry, G., Le Huërou-Luron, I., Sève, B., and Le Floc'h, N. (2010). A moderate threonine deficiency affects gene expression profile, paracellular permeability and glucose absorption capacity in the ileum of piglets. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 21(10): 914-921.
- Kralik, G., Grčević, M., Hanžek, D., Margeta, P., Galović, O. and Kralik, Z. (2020). Feeding to produce n-3 fatty acid-enriched table eggs. *The Journal of Poultry Science*, 57(2): 138-147.
- 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(10): 101379.
- Long, S. F., Kang, S., Wang, Q. Q., Xu, Y. T., Pan, L., Hu, J. X. and Piao, X. S. (2018). Dietary supplementation with DHA-rich microalgae improves performance, serum composition, carcass trait, antioxidant status, and fatty acid profile of broilers. *Poultry Science*, 97(6): 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(3): 508-521.
- Mirzaie, S., Zirak-Khattab, F., Hosseini, S. A. and Donyaei-Darian, H. (2018). Effects of dietary *Spirulina* on antioxidant status, lipid profile, immune response and performance characteristics of broiler chickens reared under high ambient temperature. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(4): 556-569.
- Mousavi, A., Mahdavi, A. H., Riasi, A. and Soltani-Ghombavani, M. J. (2017). Synergetic effects of essential oils mixture improved egg quality traits, oxidative stability and liver health indices in laying hens fed fish oil. *Animal Feed Science and Technology*, 234, 162-172.
- Panaite, T. D., Cornescu, G. M., Predescu, N. C., Cismileanu, A., Turcu, R. P., Saracila, M. and Soica, C. (2023). Microalgae (*Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis*) as a protein alternative and their effects on productive performances, blood parameters, protein digestibility, and nutritional value of laying hens' egg. *Applied Sciences*, 13(18): 34-51.
- Pitman, W. A., Osgood, D. P., Smith, D., Schaefer, E. J. and Ordovas, J. M. (1998). The effects of diet and lovastatin on regression of fatty streak lesions and on hepatic and intestinal mRNA levels for the LDL receptor and HMG CoA reductase in F1B hamsters. *Atherosclerosis*, 138(1): 43-52.

- Rustan, A. C., Nossen, J. O., Christiansen, E. N. and Drevon, C. A. (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(11): 1417-1426.
- Salahuddin, M., Abdel-Wareth, A. A., Stamps, K. G., Gray, C. D., Aviña, A. M., Fulzele, S. and Lohakare, J. (2024). Enhancing Laying Hens' Performance, Egg Quality, Shelf Life during Storage, and Blood Biochemistry with *Spirulina platensis* Supplementation. *Veterinary Sciences*, 11(8): 383-394.
- SAS, S. (2009). STAT User's Guide, Version 9.2. SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- Schweitzer, G. G., Chen, Z., Gan, C., McCommis, K. S., Soufi, N., Chrast, R. and Finck, B. N. (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(4): 848-858.
- Shahryari, M., Tabeidian, S. A., Shahraki, A. D. F., Tabatabaei, S. N., 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(7): 114919-11435.
- Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E. and Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101(2): 87-96.
- Surai, P. F. and Sparks, N. H. C. (2000). Tissue-specific fatty acid and α -tocopherol profiles in male chickens depending on dietary tuna oil and vitamin E provision. *Poultry Science*, 79(8): 1132-1142.
- Swiatkiewicz, S., Arczewska-Wlosek, A., and Jozefiak, D. (2015). The relationship between dietary fat sources and immune response in poultry and pigs: An updated review. *Livestock Science*, 180, 237-246.
- Viveros, A., Ortiz, L. T., Rodríguez, M. L., Rebolé, A., Alzueta, C., Arija, I. and Brenes, A. (2009). Interaction of dietary high-oleic-acid sunflower hulls and different fat sources in broiler chickens. *Poultry Science*, 88(1): 141-151.
- Vui, N. V., Oanh, D. H., Quyen, N. T. K., Linh, N. T., Nang, K. and Phong, N. H. (2024). The impact of adding spirulina algae to drinking water on the productivity, egg quality, yolk lipid oxidation, and blood biochemistry of laying hens. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 12(9): 1654-1663.
- Wathes, D. C., Abayasekara, D. R. E. and Aitken, R. J. (2007). Polyunsaturated fatty acids in male and female reproduction. *Biology of Reproduction*, 77(2), 190-201.

Effects of Adding *Spirulina Platensis* Microalgae to Diets Containing Fish Oil on Performance, Antioxidant Status, and Blood Lipid Parameters in Aged Laying Hens

Abstract

This study was conducted to evaluate the effects of supplementation with *Spirulina Platensis* microalgae in diets containing different levels of fish oil on performance, blood and liver antioxidant parameters, and serum lipid profiles in aged laying hens. For this purpose, a total of 288 laying hens (Hy-Line W-36, 70 weeks of age) were used in a 2×3 factorial design with 6 replicates and 8 birds per replicate. The experimental treatments included diets containing 3 levels of fish oil (0%, 1.5%, and 3% of the diet) and 2 levels of *Spirulina Platensis* microalgae (0 and 5 g/kg of the diet). The results of the fish oil and *Spirulina* interaction showed that hens fed diets with 1.5% and 3% fish oil, with or without *Spirulina*, had higher egg weight and egg mass, and lower feed conversion ratio compared to the control group ($P < 0.05$). The inclusion of 5 grams of *Spirulina* in diets containing 3% fish oil significantly increased total antioxidant capacity, glutathione peroxidase, and superoxide dismutase activity in the liver, as well as total serum antioxidant capacity, compared to diets with 3% fish oil without *Spirulina* ($P < 0.05$). The interaction between *Spirulina* and fish oil affected triglyceride and LDL concentrations, and the levels of 1.5% and 3% fish oil combined with 5 grams of *Spirulina* significantly reduced triglyceride and LDL concentrations compared to diets without fish oil. Overall, based on the results, the use of 1.5% and 3% fish oil in the diet of laying hens is recommended to improve animal performance; however, to prevent lipid oxidation, the inclusion of *Spirulina* as a natural antioxidant is necessary.

Keywords: *Spirulina*, Fish oil, Liver, Malondialdehyde, Laying hen