تخم‌مرغ فراسودمند؛ غنی‌شده با اسیدهای چرب امگا

داریوش خادمی شورمستی[۱]، عبدالله علیزاده کارسالاری[۲]*، هدی شکری[۳]

۱- استادیار، گروه کشاورزی، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران

۲- استادیار، گروه شیمی، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران

۳- بیمارستان شهید یحیی‌نژاد، دانشگاه علوم پزشکی بابل، بابل، ایران

* نویسنده مسئول: alizadeh3502@gmail.com

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱/۱۵، پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۴/۱۲

چکیده

فواید سلامت‌بخش اسیدهای چرب چند غیراشباعی امگا-۳ کم و بیش شناخته شده است. متأسفانه، در اکثر کشورها، میزان توصیه شده روزانه از این ترکیبات به‌ندرت برآورده می‌شود. بنابراین، غنی‌سازی غذاهای رایج و تولید غذاهای فراسودمند می‌تواند مصرف این اسیدهای چرب را افزایش دهد. از این نظر، تخم‌مرغ با توجه به ارزش غذایی و قیمت مناسب هدف جالبی محسوب می‌شود، زیرا بخش جدایی‌ناپذیر از رژیم غذایی را تشکیل می‌دهد. ترکیب اسیدهای چرب امگا در تخم‌مرغ را می‌توان از طریق مکمل‌های جیره اصلاح کرد. بدین منظور بذور دانه‌های روغنی مانند کتان، کلزا، کاملینا، غنی از اسید آلفا لینولنیک و همچنین روغن ماهی، غنی از اسیدهای چرب چند غیراشباعی زنجیره بلند شامل اسید ایکوزاپنتانوئیک (EPA) و اسید دوکوزاهگزانوئیک (DHA) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یک روند جدیدتر، استفاده از ریزجلبک‌ها به‌عنوان منبع EPA و یا DHA است. از سوی دیگر بکارگیری رهیافت‌های مؤثر جهت افزایش آگاهی‌های مردم در مصرف غذاهای فراسودمند ضروری به‌نظر می‌رسد. در این مقاله، یافته‌های علمی مرتبط با غنی‌سازی اسیدهای چرب امگا در تخم‌مرغ بررسی و یک نمای کلی از مزایا و معایب روش‌های مختلف و تأثیر مصرف تخم‌مرغ‌های غنی‌شده بر سلامت انسان ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: اسید ایکوزاپنتانوئیک (EPA)، اسیدهای چرب امگا، اسید دوکوزاهگزانوئیک (DHA)، تخم‌مرغ طراح، غنی‌سازی

مقدمه

غذاهای فراسودمند (کاربردی)[۱] را می‌توان آنهایی تعریف کرد که مزایای سلامت‌بخش فراتر از تغذیه اصلی تأمین می‌کنند و شامل انواع غذاهای کامل، غنی‌شده یا تقویت شده می‌شوند که وقتی به‌عنوان بخشی از یک رژیم غذایی متنوع به‌طور منظم در سطوح مؤثر مصرف شوند، تأثیر بالقوه مفیدی بر سلامت دارند. افزون بر این اقلام غذایی جدید که مخصوصاً برای ارتقاء سلامتی طراحی شده‌اند، غذاهای فراسودمند می‌توانند شامل آن دسته از غذاهای سنتی و شناخته شده (مانند تخم‌مرغ) نیز باشند که یافته‌های تحقیقاتی جدیدتر مزایای سلامت‌بخش جدیدی را در مورد آنها روشن کرده یا عقاید قدیمی در مورد اثرات نامطلوب بالقوه آنها در سلامتی را از بین برده است (۱).

تخم‌مرغ در هر صد گرم محتوای خوراکی خود، حاوی تقریباً ۱۱/۲ گرم چربی است. مقادیر نسبی اسیدهای چرب غیراشباع (تک غیراشباع و چند غیراشباع) به اسیدهای چرب اشباع در زرده (۵/۳۱ گرم در مقابل ۲/۶۴ گرم در هر ۱۰۰ گرم تخم‌مرغ کامل) در مقایسه با سایر منابع غذایی با منشأ حیوانی بسیار زیاد است. گرچه مقدار بالای کلسترول در تخم‌مرغ (۴۰۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم تخم‌مرغ کامل) موجب کاهش مصرف آن در نیم قرن پیش شد، اما

[۱] Functional Food

نتایج بسیاری از مطالعات انجام شده در دهه ۱۹۹۰ بیانگر عدم همبستگی بین مصرف تخم‌مرغ و افزایش کلسترول پلاسما بود. مطالعات بعدی بر روی حیوانات نشان داد که اسید میریستیک اصلی‌ترین اسیدهای چرب اشباع است که کلسترول پلاسما را بالا برده و اسید لینولئیک تنها اسید چربی بود که به‌طور مداوم آن را پایین آورد. در تخم‌مرغ، اسید میریستیک (۰/۰۲۴ گرم در هر ۱۰۰ گرم تخم‌مرغ کامل) در مقایسه با اسید لینولئیک (۱/۳۸ گرم در هر ۱۰۰ گرم تخم‌مرغ کامل) غلظت بسیار کمتری دارد (۲).

نتایج تحقیقات نشان داد که تخم‌مرغ ویژگی‌های ایده‌آل یک غذای فراسودمند را دارد. به‌عنوان مثال، سطوح برخی از مواد مغذی (ویتامین ایی و اسیدهای چرب مفید) را می‌توان در تخم‌مرغ به حدی افزایش داد که مصرف یک تخم‌مرغ بتواند این مواد مغذی را در مقادیر برابر یا بالاتر از نیاز روزانه تأمین کند (۳). از نظر تجاری، بسته به تقاضای مصرف‌کننده می‌توان تخم‌مرغ‌های غنی‌شده با یک یا به‌طور همزمان با چند ماده مغذی مختلف تولید کرد. این تخم‌مرغ‌ها به‌دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فردشان به‌عنوان تخم‌مرغ‌های تخصصی با ارزش افزوده به بازار عرضه می‌شوند و معمولاً قیمت بالاتری نسبت به تخم‌مرغ‌های معمولی در بازار دارند. ایده غنی‌سازی تخم‌مرغ با اسیدهای چرب امگا-۳ همزمان با ضداکسیدان‌ها و سایر ویتامین‌ها (سلنیوم، ویتامین‌های دی، ایی، ب ۱۲ و اسید فولیک) جهت تولید تخم‌مرغ VITA توسط شرکتی[1] در انگلستان مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین تخم‌مرغ‌های غنی‌شده با امگا-۳ و ویتامین ایی تولید شده با نام تجاری کلمبوس[2] برای اولین بار در سال ۱۹۹۷ در بلژیک به بازار عرضه شد و از آن زمان به بعد در انگلستان، هلند، هند، ژاپن و آفریقای جنوبی فروخته شد (۴).

اصلاح کیفیت تخم‌مرغ را می‌توان با ایجاد تغییرات متابولیکی در مرغ انجام داد که می‌تواند منجر به سنتز ترکیباتی شود که در تخم‌مرغ بروز می‌کند. یکی از رایج‌ترین روش‌های قابل قبول برای اصلاح کیفیت تخم‌مرغ، دستکاری جیره غذایی مرغ است تا ترکیبات مورد نظر در نهایت به تخم‌مرغ راه پیدا کنند. اگر غذایی، مانند تخم‌مرغ، از نظر تغذیه‌ای اصلاح شده باشد، به آن غذای طراح[3] یا فراسودمند می‌گویند (۵). بنابراین تخم‌مرغ‌های طراح آنهایی هستند که محتوای آنها نسبت به تخم‌مرغ استاندارد تغییر یافته است. محتویات تخم‌مرغ را می‌توان به گونه‌ای تغییر داد که برای بخشی از مصرف‌کنندگان که مایل به پرداخت هزینه بیشتر برای اعمال این تغییرات در تخم‌مرغ هستند، سالم‌تر و جذاب‌تر باشد.

مصرف غذاهای سرشار از اسیدهای چرب مفید و ضروری مانند ماهی و غذاهای دریایی به‌دلایل مختلف از جمله نگرانی‌های عمومی در مورد ایمنی غذاهای دریایی ناشی از آلودگی احتمالی به آلاینده‌های صنعتی کاهش یافته است. امروزه اغلب رژیم‌های غذایی به‌دلیل افزایش مصرف روغن‌های گیاهی مانند آفتابگردان و ذرت که سرشار از اسیدهای چرب امگا-۶ هستند، حاوی مقادیر زیادی از این اسیدهای چرب بوده و کمبود اسیدهای چرب امگا-۳ دارند. لذا گنجاندن اسیدهای چرب امگا-۳ در رژیم غذایی روزانه، ضروری است. به‌نظر می‌رسد یکی از جالب‌ترین تحولات آینده در صنایع غذایی و سلامت عمومی مربوط به تقاضای فزاینده‌ی اسیدهای چرب امگا-۳ باشد (۶). غنی‌سازی مواد غذایی (از جمله تخم‌مرغ) احتمالاً یکی از بهترین راه حل‌های بلند مدت برای افزایش مصرف اسیدهای چرب امگا-۳ است (۷). تخم‌مرغ‌های غنی‌شده با اسیدهای چرب امگا-۳ ده درصد از سهم بازار تخم‌مرغ و محصولات تخم‌مرغ در ایالات متحده آمریکا و

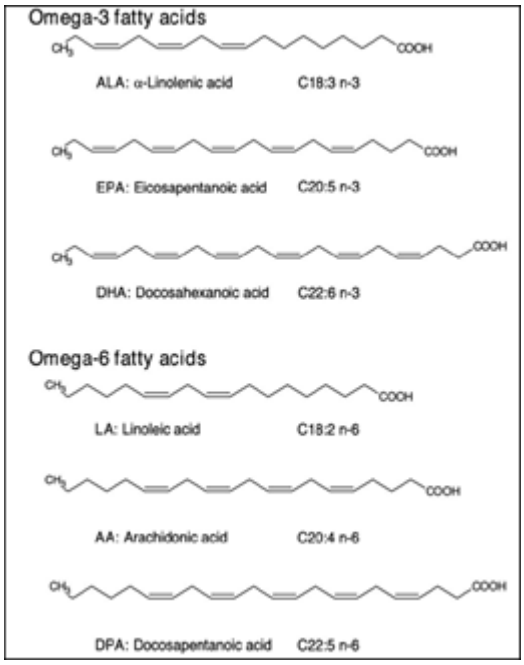
[1] Devon, UK
[2] Columbus
[3] Designer

بیشترین سهم تخم‌مرغ‌های تخصصی در کانادا را به خود اختصاص دادند (۸).

در این مقاله سعی شده است ضمن بررسی نقش اسیدهای چرب امگا در تغذیه و سلامت انسان، غنی‌سازی تخم‌مرغ‌های خوراکی تجاری با اسیدهای چرب امگا از طریق دستکاری جیره مرغان تخمگذار مورد بررسی قرار گیرد.

اسیدهای چرب امگا

اسیدهای چرب چند غیراشباعی از دو گروه مختلف اسیدهای چرب امگا-۳ و امگا-۶ تشکیل شده است. بدن انسان نیازمند تعادل بین این دو گروه از اسیدهای چرب امگا است. به‌طور کلی اینکه اسیدهای چرب غیر اشباع امگا-۳ مزایای سلامت‌بخش مهمی را برای انسان فراهم می‌کند، پذیرفته شده است. سه اسید چرب امگا-۳ مهم شامل اسید آلفا لینولنیک (ALA)[۱] اسید ایکوزاپنتانوئیک (EPA)[۲] و اسید دوکوزاهگزاانوئیک (DHA)[۳] هستند (شکل ۱).



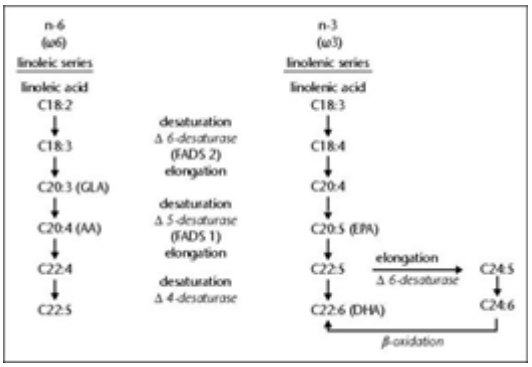
شکل ۱- اسیدهای چرب امگا-۳ و امگا-۶

مزایای سلامت‌بخش EPA و DHA که عمدتاً مربوط به بیماری‌های قلبی عروقی، سیستم عصبی مرکزی و بیماری‌های سلامت روان و التهاب و عملکردهای ایمنی هستند، بیشتر از ALA است (۹). اسیدهای چرب چندغیراشباعی اسید لینولئیک (LA)[۴] و اسید آلفا لینولنیک (ALA) که به‌ترتیب متعلق به خانواده امگا-۶ و امگا-۳ هستند، دو اسید چرب ضروری محسوب می‌شوند. اسید لینولئیک پیش‌ساز اسید آراشیدونیک (AA)[۵] و ALA، به‌عنوان یک پیش‌ساز برای سنتز زنجیره بلند کربنی EPA و DHA عمل می‌کنند (۱۰). علاوه بر این، ایکوزانوئیدهای مشتق شده از مسیرهای امگا-۶ یا امگا-۳ به ترتیب دارای خواص پیش التهابی یا ضد التهابی هستند. بنابراین، برای حفظ سلامت و عملکرد مناسب بدن، اینها باید متعادل باشند (۴).

در انسان، ALA تحت تأثیر آنزیم‌های دی‌ساچوراز و الانگاز[۶] به EPA و DHA تبدیل

[۱] Linolenic acid (18:3 n−3, ALA)
[۲] Eicosapentaenoic acid (20:5 n−3, EPA)
[۳] Docosahexaenoic acid (22:6 n−3, DHA)
[۴] Linoleic acid (18:2 n−6, LA)
[۵] Arachidonic acid (20:4 n−6, AA)
[۶] Δ-6- desaturase and elongase

می‌شود (شکل ۲). به‌دلیل رقابت برای آنزیم‌های درگیر، تبدیل ALA به EPA و با محدودیت‌هایی همراه است. اگرچه آنزیم دی‌ساچوراز، ALA را به‌عنوان بستر ترجیح می‌دهد، اما بر روی اسید لینولئیک (LA) نیز عمل می‌کند. این رقابت باعث می‌شود تا با افزایش نسبت LA به ALA (و برعکس)، کارایی تبدیل ALA به EPA و DHA کاهش یابد. در کشورهای غربی، مصرف فعلی LA و سایر اسیدهای چرب امگا-۶ نسبت به اسیدهای چرب امگا-۳ بسیار زیاد است که منجر به محدودیت شدید تبدیل ALA می‌شود (۱۱). با توجه به عملکردهای مهم فیزیولوژیکی EPA و DHA از یک‌سو و محدودیت سنتز داخل بدن آنها از ALA از سوی دیگر، مصرف اسیدهای چرب امگا-۳ در رژیم غذایی ضروری است (۱۲).



شکل ۲- متابولیسم اسیدهای چرب امگا-۳ و امگا-۶

افراد دارای رژیم‌های گیاه‌خواری مقادیر بالایی از امگا-۶ دریافت می‌کنند، درحالی‌که محتوای اسیدهای چرب امگا ۳ در رژیم غذایی آنها ناچیز است، زیرا منبع غذایی اصلی EPA و DHA ماهی‌های روغنی است که در رژیم‌های گیاه‌خواری وجود ندارد و لذا میزان تبدیل ALA به این دو اسید چرب امگا ۳ بسیار کم است. در نتیجه، سطوح سرمی کمتر EPA و DHA در گیاه‌خواران گزارش شده است (۱۳،۱۴). سازمان ایمنی غذای اروپا (EFSA)[1] مصرف روزانه EPA و DHA را بین ۲ تا ۴ گرم توصیه می‌کند تا به اثرات ادعایی مانند حفظ فشار خون و سطوح تری‌گلیسیرید برسد و مصرف ۲۵۰ میلی‌گرم در روز برای حفظ سلامت و عملکرد طبیعی قلب کافی است.

منابع گیاهی ALA شامل دانه کتان، دانه شاهدانه، دانه چیا، سبزیجات سبز برگ (هم زمینی و هم دریایی)، گردو، جوانه گندم و همچنین روغن‌های استحصالی از آنها هستند، با این حال، به‌دلیل ناکارآمدی در تبدیل ALA به EPA و DHA، منابع جایگزین در رژیم‌های غذایی گیاهی مورد نیاز است (۱۵).

ترکیب اسیدهای چرب لیپیدهای زرده را می‌توان با دستکاری جیره غذایی مرغان تخمگذار تغییر داد. تخم‌مرغ‌های غنی‌شده با امگا-۳ حاوی تقریباً چهار برابر DHA بیشتر نسبت به تخم‌مرغ‌های تجاری معمولی هستند. تخم‌مرغ‌های تولید شده از مرغ‌هایی که جیره معمولی دریافت می‌کنند، دارای اسیدهای چرب امگا-۶ نسبتاً بالایی هستند. به‌طور معمول، مقدار اسیدهای چرب اشباع یا تک غیراشباعی در تخم‌مرغ به‌سختی تحت تأثیر لیپیدهای جیره قرار می‌گیرد. اما بکارگیری منابع متداول اسیدهای چرب چندغیر اشباعی امگا-۳ در جیره طیور، مانند روغن ماهی یا بذر کتان، تأثیر مستقیم خطی بر ترکیب اسیدهای چرب امگا-۳ زرده تخم‌مرغ دارند (۱۱).

تأثیر انواع اسیدهای چرب بر تشکیل اسیدهای چرب امگا-۳ در تخم‌مرغ

ترکیب اسیدهای چرب یک ماده غذایی تأثیر مستقیمی بر استفاده یا رسوب چربی در طیور دارد. مانند سایر حیوانات تک‌معده، طیور توانایی آنزیمی اندوژن محدودی برای اصلاح ساختار اسیدهای چرب جیره در مقایسه با نشخوارکنندگان دارند که حاوی میکروب‌های شکمبه‌ای هستند و چربی‌های جیره را

[1] European Food Safety Authority (EFSA): Available online: https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/120727

به‌شدت تغییر می‌دهند، زیرا طیور میزبان جمعیت‌های میکروبی مسئول بیان الانگازها و دی‌ساچورازها نیستند (۱۶). در طی متابولیسم پس از جذب، اسیدهای چرب با زنجیره بلند مانند ALA برای ذخیره طولانی مدت انرژی به تری‌گلیسیریدها اضافه می‌شوند و حاوی اسیدهای چرب نسبتاً تغییر نیافته‌ای در قطرات چربی بافت چربی هستند. اسیدهای چرب زنجیره بلندتر از جمله EPA و DHA تقریباً به‌طور انحصاری برای ذخیره‌سازی به شکل فسفولیپیدها، به‌ویژه فسفاتیدیل اتانول آمین در زرده تخم‌مرغ ذخیره می‌شوند (۱۷).

در میان اسیدهای چرب‌های مختلف در تخم‌مرغ، تحقیقات زیادی بر روی اسید لینولئیک و آلفا-لینولنیک اسید به‌دلیل نقش آنها در سنتز اسیدهای چرب چند غیراشباع در طول جنین‌زایی گزارش شده است. اسید آراشیدونیک، اصلی‌ترین اسید چرب چند غیر اشباع امگا-۶، از اسید لینولئیک و ایکوزاپنتانوئیک اسید، دوکوزاپنتانوئیک اسید و دوکوزاهگزانوئیک اسید، از اسید آلفا-لینولنیک مشتق می‌شوند (۲، ۱۸).

همانطوری‌که گفته شد؛ انتظار می‌رود تولید تخم‌مرغ حاوی محتوای مطلوب امگا-۳ در آینده افزایش یابد که دلیل آن افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان جهت استفاده از تخم‌مرغ‌های با کیفیت است. بنابراین، تحقیقات متخصصان تغذیه طیور به سمت بهبود کارایی رسوب اسیدهای چرب امگا-۳ در تخم‌مرغ سوق داده شده است. به‌خوبی اثبات شده است که غلظت امگا-۳ در تخم‌مرغ با افزودن منابع چربی یا روغن با موفقیت افزایش یافت (۱۰،۱۱). روابط تجربی بین منابع مکمل اسید چرب امگا-۳ و محتوای آن در تخم‌مرغ به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته و به اثبات رسیده است. یافته‌های تحقیقاتی Irawan و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که افزایش سطح ALA در جیره‌ها به طور خطی باعث افزایش EPA، DHA و کل اسیدهای چرب امگا-۳ و همزمان کاهش غلظت LA در تخم‌مرغ شد. از نتایج، می‌توان تفسیر کرد که تغذیه ۱۰۰ گرم بر کیلوگرم ALA باعث تولید تخم‌مرغ با ۱۳۶ میلی‌گرم DHA می‌شود. با این حال، آنها دریافتند که افزایش سطوح LA که با افزایش نسبت LA به ALA نشان داده می‌شود، می‌تواند به صورت خطی نرخ تشکیل EPA، DHA و مجموع اسیدهای چرب امگا-۳ را کاهش دهد (۱۹). نتایج تحقیقات آنها همچنین نشان داد که غلظت ALA، اسیدهای چرب امگا-۳ و نسبت LA/ALA می‌تواند جهت تخمین DHA و تشکیل کل اسیدهای چرب امگا-۳ در تخم‌مرغ استفاده شود.

یافته‌های آنها با تئوری موجود مطابقت داشت که ALA به‌عنوان پیش‌ساز اصلی برای سنتز EPA و DHA عمل می‌کند. از این منظر، EPA بیشتر توسط فرآیندهای ازدیاد طول و اشباع به DHA تبدیل می‌شود (۱۱). افزایش نسبت LA / ALA ممکن است تشکیل DHA در تخم‌مرغ را به‌دلیل رقابت سوبسترا مختل کند. در چندین تحقیق اخیر این دلیل تأیید شد. به‌عنوان مثال، کاهش LA در حالی‌که نسبت‌های ALA از منابع مختلف اسید چرب را افزایش می‌دهد، محتوای DHA را به‌صورت خطی در تخم‌مرغ افزایش داد (۲۰،۲۱).

نتیجه کلی این مطالعه فراتحلیلی نشان داد سطوح ALA، اسیدهای چرب امگا-۳ و نسبت LA / ALA می‌توانند به‌عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده برای تخمین تشکیل اسیدهای چرب امگا-۳ در تخم‌مرغ استفاده شوند. همچنین تأیید شد که اگرچه همه منابع اسید چرب یک همبستگی مثبت بر رسوب DHA و اسیدهای چرب امگا-۳ داشتند، با این حال، روغن ماهی بالاترین مدل پیش‌بینی برای تشکیل DHA را در همه منابع اسید چرب موجود در مجموعه داده نشان داد. علاوه بر این، نشان داده شد که افزایش سطوح مکمل ALA یا اسیدهای چرب امگا-۳ در جیره ممکن است تأثیر مخربی بر عملکرد تولید مرغان تخمگذار داشته باشد. بنابراین، با توجه به وجود فاکتورهای ضدتغذیه‌ای در ماده مورد استفاده، باید حدود سطح گنجاندن تعیین شود.

تـأثیر بکـارگیری بـذور روغنی در تغییر ترکیب اسیدهای چرب تخم‌مرغ

همانطوری‌که پیشـتر گفته شـد ALA توسـط گیـاهـان مختلفی مانند کلزا، سـویا، گردو و بذر کتان تولید می‌شـود که در این بین بذر کتان یکی از بهترین منابع ALA محسوب می‌شود (۲۲).

بذر کتان در مقایسـه با روغن سـویا و ذرت حاوی ۷ برابر ALA بیشتر است و به‌عنوان مکمل ALA در فرمولاسـیون جیره طیور مورد اسـتفاده قرار می‌گیرد. بذر کتان کامل حاوی ۳۰ تا ۴۰ درصد چربی است که ۵۰ درصـد از ترکیب چربی شامل ALA و ۱۵ درصد اسـید لینولئیک اسـت. محصـولات بذر کتان به‌دلیل غلظت و زیست‌فراهمی بالا، ALA را به‌طور مؤثری به گوشـت و تخم‌مرغ منتقل می‌کنند (۱۱). تخم مرغان تخم‌گذار بدون مکمل ممکن است حاوی ۹۳ میلی‌گرم ALA و ۱۷۳ میلی‌گرم اسـید چرب امگـا-۳ کـل (ALA، EPA و DHA) در هر تخم‌مرغ ۵۰ گرمی باشـد، در حالی‌که افزودن ۱۵ درصد بذر کتان به جیره می‌تواند میزان ALA و کل اسیدهای چرب امگا-۳ را به‌ترتیب به ۳۵۸ و ۴۶۸ میلی‌گرم افزایش دهد (۲۳).

به‌نظر می‌رسـد به‌دلیل وجود مواد ضـد مغذی، گنجاندن دانه کتان در جیره بدون اینکه تأثیر منفی بر عملکرد پرنده و کارایی غذا داشـته باشـد، محدودیت دارد. هضم و جذب ممکن است به‌دلیل مواد ضد مغذی مختلف موجود در بـذر کتـان مـانـنـد گلیکوزیـدهـای سـیـانوژنیـک و اسـیـد فیتیـک، یا به‌دلیل افزایش ویسـکوزیته مواد بلعی ناشـی از موسـیلاژ در بذر کتان مختل شـود (۲۴). تغذیه مرغان تخمگذار با جیره‌های حاوی ۲۰ درصـد بذر کتان آسـیاب شده، در مقایسه با تیمارهای صـفر و ۱۰ درصـد، منجر به افزایش وزن ناکافی، کاهش تولید تخم‌مرغ و افزایش مصرف خوراک شدند که منجر به کاهش قابل توجه راندمان جیره شد (۲۵).

نتـایج کروماـتوگرافی گـازی برای تجزیه و تحلیل اسـیدهای چرب تخم‌مرغ مرغان تغذیه شـده با جیره حاوی ۲۰ درصد دانه کتان که در جدول ۱ آمده نشان داد در تخم‌مرغ‌های اصـلاح شـده (تخم‌مرغ امگا-۳)، درصـد اسـیدهای چرب امگا-۳ و امگا-۶ در مقایسـه با تخم‌مرغ‌هـای معمولی بسـیار معنی‌دار بود. همچنین مصـرف تخم‌مرغ غنی‌شـده با امگا-۳ در مقایسـه با تخم‌مرغ معمولی بر پروفایل لیپیدی سرم و فشار خون بیماران مبتلا به سـندرم متابولیک تأثیر مثبتی داشت (۲۶).

جدول ۱- ترکیب اسیدهای چرب چند غیر اشباع تخم‌مرغ معمولی و غنی‌شده (درصد)

اسید چرب	تـخـم‌مـرغ معمولی	تخم‌مرغ غنی‌شده
۱۸:۳ (امگا-۳)	۱/۱۶ b	۷/۳۹ a
۱۸:۲ (امگا-۶)	۷/۷۱ b	۹/۶۱ a
۲۰:۵ (امگا-۳)	۰/۷۶ b	۱/۵۳ a
۲۲:۶ (امگا-۳)	۰/۳۳ b	۶/۲۰ a
۲۲:۵ (امگا-۳)	۰/۰۶ b	۰/۳۳ a

شـکل فیزیکی بذر کتان ممکن اسـت بر کارایی انتقـال ALA از جیره مرغ تخمگـذار به زرده در حال رشـد تأثیر بگذارد. بذر کتان خرد شده یا آسیاب شده، همچنان حاوی اجزای ماده زمینه‌ای سـلولی دانه است که ممکن است مقداری از بخش‌های چربی را همانطور که در سـایر انواع دانه دیده می‌شـود به دام بیندازد و بدین ترتیب قابلیت هضم یا دسترسی انتقال ALA از بذر کتان آسـیاب شـده را کاهش دهد. در یک مطالعه انسـانی، دانه کتان به شکل کامل، آسیاب شده و روغن جهـت انتقـال ۶ گرم ALA بـه‌مـدت ۴ هفتـه مورد

مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد سطوح ALA پلاسما در گروه‌های روغن بذر کتان در مقایسه با گروه‌های دانه کتان آسیاب شده ۷۷ درصد بیشتر بود، در حالی‌که افزایش سطح ALA پلاسما در گروه‌هایی که دانه کتان کامل مصرف کردند مشاهده نشد (۲۷).

در آزمایشی با استفاده از مرغان تخمگذار تجارتی نشان داده شد که با افزایش غلظت جیره‌ای روغن بذر کتان و بذر کتان آسیاب شده غلظت ALA، EPA و DHA در زرده تخم‌مرغ افزایش یافت. رسوب اسیدهای چرب از روغن بذر کتان در مقایسه با دانه کتان آسیاب شده ۲ برابر بیشتر بود. غلظت EPA و DHA زرده تخم‌مرغ تحت تأثیر روغن بذر کتان یا بذر آسیاب شده کتان قرار نگرفت. با این حال، افزایش غلظت روغن بذر کتان از هر دو منبع باعث افزایش EPA و DHA زرده شد. راندمان خوراک با افزایش غلظت روغن بذر کتان افزایش یافت، در حالی که تغذیه بذر کتان آسیاب شده راندمان خوراک را کاهش داد. روغن بذر کتان بازده خوراک را بهبود بخشید و رسوب ALA در زرده را در مقایسه با منبع آسیاب شده افزایش داد و نشان داد که روغن بذر کتان جایگزین مناسبی برای غنی‌سازی تخم‌مرغ ALA است (۲۸).

تاکنون، تأثیر مکمل‌های غذایی حاوی دانه یا روغن بذر کتان بر عملکرد و ویژگی‌های تخم‌مرغ به‌طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. با این‌حال چندین گزارش علمی نشان می‌دهد که تبدیل ALA به EPA و DHA بسته به منابع اسیدهای چرب بسیار متفاوت است و تبدیل به DHA اغلب به‌دلیل مسیرهای غیراشباع و طویل شدن محدود است (۱۱). به‌عنوان مثال، مکمل کردن دانه کتان اکسترود شده تا ۹ درصد جیره منجر به حدود ۱۵۰ میلی‌گرم DHA و ۵۳۰ تا ۶۷۰ میلی‌گرم اسیدچرب امگا-۳ در تخم‌مرغ شد (۲۹). گزارش‌های مربوط به محتوای DHA و اسیدهای چرب امگا-۳ تخم‌مرغ با استفاده از روغن ماهی، ریزجلبک‌ها، روغن بزرک، روغن آفتابگردان و ترکیبی از منابع مختلف نیز بسته به منبع، سطوح و شکل اسید چرب بین ۵۰ تا ۲۹۰ میلی‌گرم در تخم‌مرغ متفاوت بود (۳۰،۳۱).

داده‌های جمع‌آوری شده مربوط به محتوای اسیدهای چرب امگا-۳ تخم‌مرغ از ۲۶ مقاله که در آن مکمل‌های غذایی با منابع مختلف اسیدهای چرب امگا-۳ مورد بررسی قرار گرفت، توسط Fraeye و همکاران (۲۰۱۲) خلاصه شد (۱۱). آنها از تعدادی از مطالعات ارائه شده نتیجه گرفتند که وقتی بذر کتان به غذای مرغان تخمگذار اضافه شد، سطح ALA زرده متناسب با درصد افزودن بذر کتان افزایش یافت. علاوه بر این، مقادیر DHA در زرده نیز البته به میزان کمتر و نه در پاسخ خطی به سطح بذر کتان افزایش یافت. مقدار EPA به سختی افزایش می‌یابد. به‌عنوان مثال، وقتی ۱۵ درصد دانه کتان آسیاب شده در جیره مرغان تخمگذار گنجانده شد، محتوای ALA تخم‌مرغ از ۱۳ به ۲۱۲ میلی‌گرم افزایش یافت، در حالی‌که محتوای DHA از ۲۸ به ۹۰ میلی‌گرم افزایش یافت. این نشان داد که مرغان تخمگذار همانند انسان قادر به تبدیل بسیار محدود ALA به DHA هستند. علت آن فعالیت کم آنزیم‌های دی‌ساچوراز دخیل در تبدیل ALA است. با این حال، راندمان تبدیل تحت تأثیر عوامل متعددی قرار می‌گیرد. اول از همه، وجود مقادیر بالای اسیدهای چرب امگا-۶ در جیره، رقابت برای آنزیم‌های دی‌ساچوراز را افزایش می‌دهد و باعث کاهش راندمان تبدیل ALA می‌شود (۲۰)، در نتیجه، نسبت اسیدهای چرب امگا-۶ به امگا-۳ جیره غذایی یکی از عوامل اصلی تأثیرگذار است. ثانیاً، به‌نظر می‌رسد افزودن ضداکسیدان‌هایی مانند ویتامین ایی نیز مسیر طویل‌شدن-اشباع‌زدایی را به شیوه‌ای مطلوب تعدیل می‌کند (۳۲). سوم اینکه سن و سویه مرغان تخمگذار بر کارایی ازدیاد طول و اشباع شدن ALA تأثیر دارد. فرض بر این است که مرغان مسن‌تر کبد بزرگ‌تری دارند که امکان تبدیل مؤثرتر ALA به DHA را فراهم می‌کند (۱۹).

جالب است اشاره شود که به‌نظر می‌رسد تبدیل زیستی ALA در پرندگان ماده بیشتر از پرندگان نر

است، که ممکن است به تفاوت‌های هورمون‌های استروئیدی و یا سایر تفاوت‌های مرتبط با جنسیت در متابولیسم مربوط باشد (۳۳).

جالب توجه است، با وجود اینکه در برخی مطالعات نشان داده شد که نسبت LA / ALA در جیره بر نرخ تبدیل تأثیری ندارد، اما Aguillon-Paez و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعات خود با استفاده از دانه آفتابگردان پرچرب و بذر کتان گزارش کردند که نسبت LA / ALA تأثیر قابل توجهی بر تشکیل DHA در تخم‌مرغ دارد. علاوه بر این، سویه، طول دوره آزمایش و ترکیب مواد افزودنی جیره مانند اسیدی کننده، آنزیم و ضداکسیدان‌ها نیز ممکن است بر متابولیسم لیپید و برون‌ده DHA در تخم‌مرغ تأثیر بگذارد (۲۰،۲۱).

در بررسی تأثیر جیره حاوی روغن ماهی، بذر کتان و دانه چیا بر ترکیب اسیدهای چرب امگا-۳ تخم‌مرغ نشان داده شد؛ بیشترین مقدار ALA در تخم‌مرغ مرغان تغذیه شده با دانه چیا دیده شد. با افزایش درصد دانه چیا در جیره از ۱۵ تا ۴۰ درصد، غلظت ALA از ۱۰/۷ به ۳۴/۶ درصد افزایش یافت. ایکوزاپنتانوئیک اسید و دوکوزاهگزانوئیک اسید فقط در تخم‌مرغ‌های مرغان تخمگذار که با جیره حاوی روغن ماهی تغذیه شده بودند، شناسایی شدند (۳۴).

در مقایسه با تخم‌مرغ‌های معمولی (شاهد)، در تخم‌مرغ مرغان تخمگذار تغذیه شده با جیره حاوی ۵ درصد بذر کتان (غنی شده) اسید چرب امگا-۳ به میزان ۳/۸ برابر، آلفا-لینولنیک اسید ۶/۴ برابر و دوکوهگزانوئیک اسید ۲/۴ برابر افزایش یافت. نسبت اسیدهای چرب امگا-۶ به امگا-۳ به میزان ۳/۶ برابر کاهش یافت. ارزیابی‌های حسی تفاوت معنی‌داری نداشتند. هزینه تخم‌مرغ ۱/۵ تا ۳ درصد افزایش یافت (۳۵).

اخیراً، روغن بذر کتان محلول[1]، به‌عنوان یک افزودنی غذایی ایمن‌تر برای مصرف انسان، با ویژگی‌هایی از جمله امولسیون کردن روغن‌های تصفیه شده و سم‌زدایی، به بازار عرضه شده است. در طی این فرآیندها، روغن بذر کتان در معرض امولسیون شدن و حذف عوامل ضد مغذی و فلزات سنگین قرار می‌گیرد. گزارش شده است که امولسیون کردن روغن‌های خوراکی به دلیل افزایش حلالیت، پتانسیل بهبود هضم و جذب اسیدهای چرب را دارد (۳۶).

نشان داده شد که بکارگیری روغن بذر کتان محلول در جیره مرغان تخمگذار، موجب افزایش مجموع اسیدهای چرب غیراشباع امگا-۳ و دوکوزاهگزانوئیک اسید زرده تخم‌مرغ در ۲ و ۴ هفته پس از تغذیه شد اما تأثیری بر محتوای اسید آلفا-لینولنیک و اسید ایکوزاپنتانوئیک نداشت. لذا نتیجه‌گیری شد که افزودن روغن بذر کتان محلول به جیره مرغ‌های تخم‌گذار می‌تواند یک رهیافت کارآمد برای غنی‌سازی اسیدهای چرب غیراشباع امگا-۳، از جمله اسید دوکوزاهگزانوئیک در تخم‌مرغ باشد (۲۰).

یافته‌های مطالعه‌ای در خصوص استفاده از کنجاله سویا پرچرب و سویای با اسید اولئیک بالا به‌عنوان یک ماده غذایی برای افزایش عملکرد و غنی سازی محصولات تولیدی برای مصرف انسان نشان داد که ترکیب اسیدهای چرب جیره مرغان تخمگذار می‌تواند در ترکیب اسیدهای چرب بافت بدن مانند ماهیچه و کبد و تخم‌مرغ منعکس شود. تخم مرغان تغذیه شده با جیره حاوی کنجاله سویا با اسید اولئیک بالا دارای مقدار قابل توجهی اسید اولئیک در مقایسه با سایر جیره‌ها بود که به‌طور بالقوه می‌تواند سلامت قلب و عروق را به همراه داشته باشد (۳۷).

به‌طور کلی، منبع چربی مکمل اضافه شده به جیره به‌طور قابل توجهی مشخصات اسیدهای چرب زرده را تغییر می‌دهد، نتایج تحقیقی نشان داد زرده‌های مرغان تغذیه شده با روغن سویا حاوی نسبت کمتری از اسیدهای چرب اشباع و تک غیر اشباع در مقایسه با روغن نخل بودند. در مورد اسیدهای چرب

[1] Soluble flaxseed oil (SFO)

چند غیر اشباع، زرده‌های حاصل از روغن سویا دارای تقریباً دو برابر اسیدهای چرب چند غیراشباع امگا-۶، اسیدهای چرب چند غیراشباع امگا-۳ و کل اسیدهای چرب چند غیر اشباعی نسبت به زرده‌های حاصل از روغن نخل بود. ضمن اینکه تغذیه با روغن سویا ضمن تأثیر بر محتوای بیشتر اسیدهای چرب ضروری (لینولئیک و لینولنیک اسید) در زرده تخم‌مرغ‌ها، محتوای اسیدهای چرب زنجیره بلند سنتز شده از این پیش‌سازها مانند DHA را نیز تحت تأثیر قرار داد (۳۸).

دانه کتان و دانه کانولا پروتئین با کیفیت بالا، ویتامین‌ها، فسفر و مهم‌تر از آن روغن با کیفیت بالا غنی از اسید آلفا- لینولنیک دارند. بذر کتان همان‌طور که گفته شد؛ به‌طور گسترده‌ای در تغذیه مرغان تخمگذار جهت تولید تخم‌مرغ غنی‌شده با اسیدهای چرب امگا-۳ مورد استفاده قرار گرفته است، در حالی‌که با توجه به قیمت، دانه کلزا جذابیت داشته و در حال تبدیل شدن به یک جایگزین جالب برای چربی‌های حیوانی در برنامه‌های تغذیه طیور و تک‌معده‌ای‌ها هستند.

در مطالعه‌ای، مرغ‌های دریافت‌کننده بذر کتان اسیدهای چرب امگا-۳ بیشتری (۵۶۲ میلی‌گرم) نسبت به مرغان تغذیه شده با دانه کلزا (۲۰۷ میلی‌گرم) را در تخم‌مرغ رسوب دادند (۲۳). همچنین نشان داده شده که میزان کل اسیدهای چرب امگا-۳ در چربی زرده تخم‌مرغ در مرغان تغذیه شده با ۱۶ درصد دانه کتان یا کانولا در جیره به‌ترتیب به‌طور متوسط ۱۰/۷۵ و ۴/۱۵ درصد بود (۳۹).

روغن ماهی

پیشتر گفته شد که اسیدهای چرب ضروری ایکوزاپنتانوئیک (EPA) و دوکوزاهگزانوئیک (DHA) برای رشد و نمو مهم هستند و نقش ویژه‌ای در پیشگیری از بیماری عروق کرونر قلب، فشار خون بالا، التهاب، بیماری‌های خود ایمنی و سرطان دارند.

در متابولیسم طیور، LA به اسید آراشیدونیک (AA) تبدیل می‌شود در حالی‌که ALA به EPA و DHA متابولیزه می‌شود. اگر نسبت LA / ALA بالا باشد، سنتز DHA محدود می‌شود زیرا در هر دو فرآیند رقابت برای آنزیم دی‌ساچوراز وجود دارد. طبق گزارش Shahidi و Ambigaipalan (۲۰۱۸) در بهترین حالت، ALA تا ۴ درصد به EPA و DHA تبدیل می‌شود (۴۰).

گزارش گردید که ترکیب منابع گیاهی و روغن ماهی در تغذیه مرغ‌های تخمگذار در غنی‌سازی مؤثر بوده است (۱۱). اسیدهای چرب چند غیراشباعی امگا-۳ روغن ماهی به‌دلیل احتمال بروز بوی نامطلوب در تخم‌مرغ به‌مقدار محدود به جیره اضافه می‌شود. تحقیقات برخی از نویسندگان نشان داد که روغن ماهی‌های مختلف اضافه شده به جیره مرغان تخم‌گذار منجر به افزایش قابل توجه اسیدهای چرب چند غیراشباعی امگا-۳ در زرده تخم‌مرغ می‌شود (۴۱). افزایش محتوای ALA همراه با EPA و DHA، همراه با کاهش روغن‌های گیاهی حاوی سطوح بالای LA، برای دستیابی به یک وعده غذایی سالم برای انسان ضروری است.

در بررسی استفاده از روغن ماهی در غنی‌سازی تخم‌مرغ، گزارش گردید که افزایش سهم روغن ماهی در جیره باعث افزایش محتوای EPA از ۱۰/۲۷ به ۲۰/۱۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم تخم‌مرغ و DHA از ۱۰۵/۴۴ تا ۲۳۶/۸۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم تخم‌مرغ و مجموع اسیدهای چرب چند غیر اشباعی امگا-۳ از ۲۰۴/۵۹ تا ۳۲۷/۳۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم تخم‌مرغ شد (۴۲).

افزودن روغن ماهی به جیره مرغان تخم‌گذار بر غنی‌سازی تخم‌ها با اسیدهای چرب چند غیر اشباعی امگا-۳ تأثیر می‌گذارد. Mariod و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که روغن ماهی یک منبع غنی از اسیدهای چرب چند غیر اشباعی امگا-۳ و فقیر در اسیدهای

چرب چند غیر اشباعی امگا-۶ است، ضمن اینکه محتوای LA آن نیز کم است (۴۳). Ceylan و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه خود، نشان دادند افزودن ۱/۵ و ۳ درصد روغن ماهی به جیره مرغان تخمگذار، به‌طور قابل توجهی باعث افزایش محتوای DHA در چربی زرده شد (۴۴). این محققان EPA را در لیپیدهای زرده شناسایی نکردند در حالی‌که گزارش آنها در خصوص محتوای اسیدهای لینولئیک و آراشیدونیک و همچنین ALA و DHA نزدیک به نتایج تحقیقات Baucells و همکاران (۲۰۰۰) بود (۴۵). بر اساس مطالعه Basmacioglu و همکاران (۲۰۰۳)، می‌توان با استفاده از روغن ماهی در جیره مرغان تخمگذار، در لیپیدهای زرده ۰/۷۱ درصد ALA، ۰/۱۸ درصد EPA و ۳/۲۹ درصد DHA در کل اسیدهای چرب رسوب داد (۴۶).

مشابه مکمل‌سازی جیره مرغان تخمگذار با دانه‌های روغنی، نتایج متناقضی در مورد تأثیر مکمل روغن ماهی بر فراسنجه‌های تولید مرغ نیز منتشر شده است. چندین نویسنده اختلال در فراسنجه‌های تولید، به‌ویژه کاهش وزن تخم‌مرغ و یا زرده با تغذیه روغن ماهی را گزارش کردند. پیشنهاد شده است که مصرف اسیدهای چرب چند غیر اشباعی با زنجیره بلند امگا-۳ باعث کاهش تری‌گلیسرید سرم در مرغ‌ها می‌شود، بنابراین مقدار لیپیدهای موجود برای تشکیل زرده کاهش می‌یابد. علاوه بر این، در برخی موارد، وزن کمتر تخم‌مرغ ممکن است به این واقعیت مرتبط باشد که غذای کمتری مصرف می‌شود. با این‌حال، گزارشاتی مبنی بر عدم تأثیر بر وزن تخم‌مرغ ارائه شده است (۱۱).

اگرچه روغن ماهی حاوی EPA و همچنین DHA است، اما تخم‌مرغ‌های تغذیه شده با جیره حاوی روغن ماهی، عمدتاً غنی از DHA است، در حالی‌که محتوای EPA به‌میزان بسیار کمتری افزایش می‌یابد. Cachaldora و همکاران (۲۰۰۸) افزودن روغن ماهی غنی از EPA را با افزودن روغن ماهی غنی از DHA مقایسه کردند. برای هر دو تیمار، اسیدهای چرب چند غیر اشباعی با زنجیره بلند امگا-۳ اصلی در تخم‌مرغ DHA بود که با مقادیر کمی از EPA همراه بود. نتایج آنها نشان می‌دهد که EPA جیره تا حد زیادی به DHA تبدیل می‌شود. راندمان این تبدیل فقط کمی کمتر از رسوب مستقیم DHA جیره در زرده است (۴۷).

مقدار DHA زرده متناسب با افزایش سطوح روغن ماهی در جیره، افزایش نیافت که نشان دهنده کارایی کمتر رسوب این اسید چرب در سطوح بالاتر روغن ماهی است. نشان داده شده است که EPA و DHA ترجیحاً در فسفولیپیدها ترکیب می‌شوند. با توجه به اینکه فسفولیپیدها لیپیدهای ساختاری هستند، ممکن است باعث محدودیت در کارایی رسوب شود (۴۷). مشابه آنچه در مورد تخم‌مرغ‌های غنی‌شده با ALA مورد بحث قرار گرفت، افزایش اسیدهای چرب چند غیر اشباعی با زنجیره بلند امگا-۳ با مکمل روغن ماهی با کاهش AA و کل اسیدهای چرب چند غیر اشباعی امگا-۶ همراه است (۳۳).

نتایج تحقیق Kralik و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که افزایش سهم روغن ماهی از ۰/۳ به ۱/۵ درصد همراه با روغن سویا (از ۳/۵ به ۴/۷ درصد) در جیره مرغان تخمگذار موجب افزایش محتوای EPA از ۱/۰۸ تا ۱/۹۶، DHA از ۱/۴۳ تا ۲/۲۴ و مجموع اسیدهای چرب امگا-۳ از ۱/۲۶ تا ۱/۶۰ برابر شد. در عین حال، بین افزایش سهم روغن ماهی در جیره مرغان تخمگذار و محتوای EPA، DHA و مجموع اسیدهای چرب امگا-۳ در چربی‌های زرده همبستگی معنی‌داری وجود داشت (۴۲).

ریزجلبک

غنی‌سازی تخم‌مرغ‌ها با اسیدهای چرب چند غیر اشباعی با زنجیره بلند امگا-۳ همیشه باعث کاهش ویژگی‌های حسی می‌شود که بر پذیرش یا ترجیح مصرف‌کننده تأثیر می‌گذارد. قبلاً گزارش شده بود که

ویژگی‌های حسی تخم‌مرغ مرغان تخمگذار با جیره‌های حاوی مکمل‌های روغن ماهی، پودر ماهی و سایر منابع غذایی اسیدهای چرب چند غیر اشباعی امگا-۳ تحت تأثیر دوز مصرفی قرار گرفت (۱۱). لذا گنجاندن روغن و پودر ماهی در جیره مرغان تخمگذار به‌ترتیب به کمتر از ۱ و ۱۲ درصد محدود شده است که در این حالت متقابلاً حداکثر غنی‌سازی DHA در تخم‌مرغ (تا حدود ۱۰۰ میلی‌گرم DHA در هر تخم‌مرغ) را محدود می‌کند. حتی استفاده از روغن ماهی بی‌بو شده و ریزپوشینه‌شده نیز نتوانست بر مشکلات ناشی از ویژگی‌های حسی غلبه کند (۴۸).

ریزجلبک‌های دریایی، جایگزینی برای منابع فعلی روغن ماهی برای تولید تخم‌مرغ‌های غنی‌شده با DHA محسوب می‌شوند. انتظار می‌رفت که روغن ریزجلبک استخراج شده از زیست توده ریز جلبک‌ها با بهبود قابلیت زیست‌فراهمی، کارایی غنی‌سازی اسیدهای چرب را افزایش دهد. با این حال، مطالعاتی کمی وجود دارد که به‌طور مستقیم اثربخشی این دو منبع غذایی را برای غنی‌سازی زرده با DHA مقایسه کند (۴۹). تخم‌مرغ‌های تغذیه شده با ریزجلبک هتروتروف (غنی از DHA، EPA کم یا بدون EPA) معمولاً ترکیب اسیدهای چرب چند غیراشباعی مشابه تخم‌مرغ‌های تغذیه شده با روغن ماهی را نشان دادند.

یک تفاوت عمده در روغن ماهی و ریزجلبک برای مکمل‌سازی جیره مرغان تخمگذار جهت غنی‌سازی با اسیدهای چرب چند غیراشباعی زنجیره بلند امگا-۳ این است که ریزجلبک حاوی مقادیر قابل توجهی کاروتنوئید است (۵۰). لذا همانطور که DHA ریزجلبکی به زرده تخم‌مرغ وارد می‌شود، کاروتنوئیدها نیز به‌طور همزمان به زرده منتقل می‌شوند که ممکن است به عنوان آنتی‌اکسیدان برای حفظ اسیدهای چرب چند غیراشباعی ناپایدار عمل کرده و در نتیجه ثبات چربی زرده را افزایش دهند (۵۱).

نتایج تحقیقی نشان داد استفاده از روغن ریزجلبک یا روغن ماهی باعث افزایش محتوای DHA و کل اسیدهای چرب چند غیر اشباعی امگا-۳ در زرده شد و نسبت اسیدهای چرب امگا-۶ به امگا-۳ را به‌صورت وابسته به دوز کاهش داد. در عین حال حد بالای استفاده از مقدار روغن ریزجلبک یا روغن ماهی در جیره باید بر اساس تأثیرات آن‌ها روی طعم تخم‌مرغ ذکر شود، و این حد بالا بسته به منبع DHA متفاوت است. آنها گزارش کردند حداکثر مکمل غذایی DHA از روغن ریزجلبک و روغن ماهی در حالی‌که تخم‌هایی با ویژگی‌های حسی قابل قبول بدست آید به‌ترتیب در غلظت ۶/۶۴ و ۴/۲۷ میلی‌گرم بر گرم بود و میزان DHA در زرده تخم‌مرغ‌ها را می‌توان به ۲۶۱/۱۱ و ۲۱۲/۵۶ میلی‌گرم DHA در هر تخم‌مرغ افزایش داد. بنابراین، استفاده از روغن ریزجلبک تخم‌مرغ‌هایی با DHA غنی‌شده بالاتری را نسبت به روغن ماهی تولید می‌کند که از نظر ویژگی‌های حسی هنوز برای انسان قابل قبول است (۵۲).

نشان داده شد که روغن ریزجلبک می‌تواند تخم‌مرغ را با اسیدهای چرب چند غیراشباعی زنجیره بلند امگا-۳ غنی‌سازی کند، اما مقدار توصیه شده گنجاندن آن در جیره نباید از ۲۰ گرم در کیلوگرم تجاوز کند. این سطح گنجاندن می‌تواند تقریباً حداکثر غنی‌سازی زرده با اسیدهای چرب چند غیراشباعی زنجیره بلند امگا-۳ (۲۴۰ میلی‌گرم در هر تخم‌مرغ) را بدون آسیب رساندن به عملکرد تولیدی مرغ امکان‌پذیر کند (۵۳). در تحقیق مشابهی، گنجاندن ۲ درصد ریزجلبک، محتوای EPA و DHA را به‌ترتیب ۵۸/۳ و ۶۰۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم زرده افزایش داد (۵۴).

علاوه بر ریزجلبک‌های هتروتروف، بسیاری از ریزجلبک‌های اتوتروف نیز مقادیر بالایی از اسیدهای چرب چند غیراشباعی زنجیره بلند امگا-۳ تولید می‌کنند. علاوه بر این، آنها اغلب از نظر کاروتنوئیدها بسیار غنی هستند، زیرا کاروتنوئیدها اجزای اساسی دستگاه فتوسنتزی هستند. امروزه، قیمت بالای ریزجلبک‌های تولیدکننده اسیدهای چرب چند غیراشباعی امگا-۳ اتوتروف، کاربرد آنها را در تولید محصولات ارزان قیمت مانند تخم‌مرغ محدود می‌کند.

اطلاعات محدودی در مورد افزودن ریزجلبک‌های اتوتروف به جیره طیور وجود دارد. در مطالعات مرتبط، گونه *نانوکلروپسیس*[1] به جیره طیور اضافه شده است. در مطالعه Nitsan و همکاران (۱۹۹۹) ترکیب اسیدهای چرب گونه *نانوکلروپسیس* مورد استفاده (*نانوکلروپسیس گادیتانا*) محتوای EPA بالایی داشته در حالی‌که سایر اسیدهای چرب امگا-۳ عمدتاً وجود نداشتند. این ترکیب لیپیدی خاص امکان مطالعه متابولیسم EPA جیره را در مرغان تخمگذار فراهم کرد. مشاهده شد که EPA در زرده تخم‌مرغ تجمع نیافت، چراکه تا حد زیادی به DHA تبدیل شده و در کبد و زرده تخم‌مرغ رسوب کرد (۵۵). بازده تبدیل EPA به DHA به‌طور قابل توجهی بهتر از ALA به DHA است، همانطور که در بخش‌های قبل نیز مورد بحث قرار گرفت.

در تحقیق Fredriksson و همکاران (۲۰۰۶)، *نانوکلروپسیس اکلاتا*، گونه حاوی EPA و ALA، به جیره اضافه شد. آنها علاوه بر غلظت‌های پایین EPA، تجمع قابل توجهی از DHA را در زرده تخم‌مرغ به‌ویژه در بخش فسفولیپید مشاهده کردند (۵۶).

علاوه بر اسیدهای چرب امگا-۳، *نانوکلروپسیس*، حاوی مقادیر زیادی ویتامین ایی و کاروتنوئیدهای مختلف است که می‌تواند به جلوگیری از اکسیداسیون لیپیدها کمک کند.

مصرف تخم‌مرغ‌های غنی‌شده و سلامت انسان

تا به امروز مطالعات بالینی طولانی مدت بسیار محدودی با هدف بررسی رابطه مستقیم بین مصرف تخم‌مرغ غنی‌شده با ALA و بروز بیماری‌های قلبی و عروقی انجام شده است. با این‌حال، در چندین مطالعه نشان داده شد که اسیدهای چرب چند غیراشباعی امگا-۳ در تخم‌مرغ توسط دستگاه گوارش انسان جذب می‌شود و به پلاسمای خون منتقل می‌شوند تا بتوانند نقش زیست‌فعال خود را اعمال کنند.

افزایش دریافت اسیدهای چرب غیراشباع امگا-۳ در رژیم غذایی ممکن است باعث محافظت عصبی، انعطاف پذیری مغز، بهبود زخم و ارتقای سلامت قلب و عروق شود. جایگزینی غذاهای معمول با مواد مشابه حاوی DHA و EPA بیشتر و اسیدهای چرب امگا-۶ کمتر می‌تواند وضعیت اسیدهای چرب و شاخص امگا-۳ را تحت تأثیر قرار دهد (۵۷).

ترکیب اسیدهای چرب رژیم‌های غذایی معمول در قرن گذشته به‌دلیل تغییر در شیوه‌های تولید غذا، مصرف ماهی و جابجایی چربی حیوانی با روغن‌های گیاهی به‌شدت تغییر کرده است. استفاده از منابع گیاهی، به‌ویژه سویا، به‌عنوان خوراک حیوانات و انسان، به‌طور همزمان باعث کاهش مصرف چربی اشباع و افزایش مصرف اسیدهای چرب غیراشباع امگا-۶ شده است. بررسی‌ها در مورد دریافت معمول مواد مغذی اسیدهای چرب امگا-۶ و امگا-۳ در افراد ۱۹ تا ۵۰ سال نشان‌دهنده دریافت کافی لینولئیک اسید و آلفا لینولنیک اسید، اما مقادیر کمتر از حداقل توصیه شده ایکوزاپنتانوئیک اسید و دوکوزاهگزانوئیک اسید بود. سازمان ایمنی غذای اروپا ۲۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم EPA و DHA در روز از رژیم غذایی را برای کاهش خطرات قلبی عروقی در میان بزرگسالان اروپایی توصیه می‌کند (۵۸).

اسیدهای چرب امگا-۶ و امگا-۳ نقش مهمی در عملکردهای فیزیولوژیکی دارند، با این‌حال، اثرات آنها در طبیعت مخالف یکدیگر است. وضعیت مطلوب نسبت اسیدهای چرب امگا-۶ به امگا-۳ با کاهش خطر بیماری قلبی، بهبود عملکرد سیستم ایمنی و بهبود زخم و کاهش اضطراب مرتبط است. علاوه بر این، به‌نظر می‌رسد ترکیب و نسبت اسیدهای چرب بهینه به پیشگیری و درمان چاقی و سرطان نیز کمک کند.

[1] Nannochloropsis

طی یک مطالعه ۱۰ هفته‌ای Yung و همکاران (۲۰۱۷) دریافتند که مصرف غذاهای تولید شده خاص، با محتوای کم اسید چرب امگا-۶ و محتوای بالای امگا-۳ باعث بهبود وضعیت اسیدهای چرب چند غیراشباعی پلاسما و گلبول های قرمز خون و تحریک افزایش شاخص امگا-۳ شد (۵۹).

ترکیب لیپیدی سرم و پلاکت ۵ داوطلب سالم را که هر هفته ۲۸ تخم‌مرغ غنی‌شده با ALA مصرف کردند، مورد مطالعه قرار گرفت. در عرض یک هفته، سطح تری‌گلیسیرید سرم تا ۳۵ درصد کاهش یافت (۶۰). مشاهدات مشابهی توسط Jiang و Sim (۱۹۹۳) ارائه شد که در آن به‌طور هفتگی ۱۴ تخم‌مرغ غنی شده با ALA را به داوطلبان سالم در طول ۱۸ روز تغذیه کردند (۶۱). در حالی‌که، Cherian و Sim (۱۹۹۶) تغییری در سطح تری‌گلیسیرید سرم ۸ زن پرستار پس از مصرف هفتگی ۱۴ تخم‌مرغ غنی شده با ALA مشاهده نکردند (۶۲).

مصرف روزانه ۴ تخم‌مرغ غنی‌شده با ALA توسط داوطلبان سالم منجر به غنی‌سازی فسفولیپیدهای پلاکتی در DHA شد که ممکن است تجمع پلاکتی را کاهش دهد. در مقابل، سطح فسفولیپید پلاکتی ALA به دنبال مصرف تخم‌مرغ غنی‌شده با ALA بسیار پایین باقی ماند. انتظار می‌رود اثرات توصیف شده در بالا به‌طور کلی تأثیر مطلوبی بر خطر بیماری قلبی عروقی داشته باشد. نکته مهم این است که اکثر اثرات مثبت مربوط به حضور DHA نه ALA در تخم‌مرغ‌ها است (۶۰). علاوه بر این، Cherian و Sim (۱۹۹۶) نشان دادند که تغذیه با تخم‌مرغ‌های غنی‌شده با ALA به زنان شیرده منجر به غنی‌سازی شیر مادر با ALA و DHA می‌شود (۶۲).

چندین محقق افزایش سطح DHA را در سرم افرادی که تخم‌مرغ‌های تغذیه شده با روغن ماهی مصرف کردند، گزارش کردند. به‌عنوان مثال، این اثر با مصرف ۲۸ تخم‌مرغ غنی‌شده (از مرغان تغذیه شده با ۱۰ درصد روغن ماهی) در هفته طی ۴ هفته توسط داوطلبان سالم مشاهده شد (۶۳). نتایج مشابهی در تحقیقات Farrell (۱۹۹۸) که در آن داوطلبان سالم ۷ تخم‌مرغ غنی‌شده (از مرغان تغذیه شده با ۵-۲ درصد روغن ماهی) در هفته به‌مدت ۲۲ هفته مصرف کردند (۶۴) و توسط Gillingham و همکاران (۲۰۰۵) که در آن بیماران با کلسترول بالا و تحت درمان با استاتین ۱۴ تخم‌مرغ غنی‌شده (از مرغان تغذیه‌شده با ترکیبی از بذر کتان و روغن ماهی منهادن) در هفته به‌مدت ۶ هفته مصرف کردند، گزارش گردید (۶۵). همچنین Oh و همکاران (۱۹۹۱) کاهش قابل توجهی در سطح تری‌گلیسیرید سرم در داوطلبان سالمی که ۲۸ تخم‌مرغ غنی‌شده (از مرغان تغذیه شده با ۱۰ درصد روغن ماهی) در هفته مصرف کردند، یافتند (۶۳). مشاهدات مشابهی توسط Bovet و همکاران (۲۰۰۷) گزارش شد. مشابه اثراتی که تخم‌مرغ‌های غنی‌شده با ALA دارند، این اثرات نیز احتمالاً تأثیر مطلوبی بر خطر بیماری قلبی عروقی دارد (۶۶).

پاسخ‌های لیپیدی در مردان و زنان دارای تری‌گلیسیرید بالای خفیف پس از مصرف هفتگی ۱۰ تخم‌مرغ معمولی در مقابل تخم‌مرغ‌های غنی‌شده با محتوای DHA از طریق افزودن ریزجلبک هتروتروف مورد مطالعه قرار گرفت. مصرف تخم‌مرغ غنی شده با DHA به‌مدت ۶ هفته باعث افزایش ۴۱ درصدی سطح سرمی DHA شد. در افراد با شاخص توده بدنی برابر ۳۰ کیلوگرم بر متر مربع و بیشتر، درمان با DHA منجر به کاهش بیشتر در سطح تری‌گلیسیرید سرم و افزایش بیشتر کلسترول HDL در مقایسه با تخم‌مرغ معمولی شد که نشان دهنده تأثیر مطلوب سلامتی است (۶۷).

توسعه و فروش غذاهای فراسودمند (کاربردی) نسبتاً پیچیده، گران و پرخطر است. در واقع، جدای از موانع بالقوه فنآورانه، مسائل قانونی و خواسته‌های مصرف‌کنندگان باید در توسعه این دسته از غذاها در نظر گرفته شود. مخصوصاً پذیرش مصرف‌کننده به‌عنوان یک شاخص مهم برای کشف فرصت‌های

جدید بازار شناخته می‌شود. با توجه به مطالعات صورت گرفته پذیرش مصرف‌کننده نسبت به غذاهای کاربردی عمدتاً ناشی از درک رابطه بین عوامل مختلف مانند رژیم غذایی و سلامتی است (۶۸).

نتیجه‌گیری

اثرات ارتقاء سلامت اسیدهای چرب امگا-۳ عمدتاً به EPA و DHA نسبت داده می‌شود. با توجه به تبدیل نسبتاً محدود ALA به EPA و DHA (توسط انسان و نیز مرغان تخمگذار)، مکمل غذایی حاوی اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ به‌شکل روغن ماهی یا ریزجلبک‌ها در مقایسه با پیش‌ساز ALA از طریق افزودن بذر کتان یا سایر بذور روغنی، جالب‌تر است. در حالی‌که افزودن سطوح بالای روغن ماهی می‌تواند منجر به مقادیر نسبتاً بالایی از DHA در تخم‌مرغها شود، با محدودیت‌های حسی مواجه است. افزودن ریزجلبک‌ها به‌عنوان منبع اسید چرب چند غیراشباعی زنجیره بلند امگا-۳ به جیره طیور یک راه مؤثر جهت افزایش سطح DHA در تخم‌مرغ است. علاوه بر این، در مقایسه با روغن ماهی، بکارگیری ریزجلبک‌ها مزایای متعددی را به‌خصوص در مورد پایداری اکسیداتیو لیپیدها به همراه دارد. در عین حال استفاده از ریزجلبک‌های اتوتروف ممکن است حتی مزایای بیشتری را با توجه به محتوای کاروتنوئید بالاتر داشته باشد.

روندهای جدید در بازار و همچنین توجه روزافزون به غذاهای فراسودمند (کاربردی)، فرصت‌های جدیدی را پیش روی محصولات غذایی باز می‌کند. این امر به‌ویژه در مورد تخم‌مرغ، که بخش اصلی رژیم غذایی مدیترانه‌ای است، صدق می‌کند. در واقع تخم‌مرغ‌های غنی‌شده با اسیدهای چرب امگا-۳ محصولی با ویژگی خاص و مناسب در بازار به‌نظر می‌رسد، به‌خصوص اگر یک رهیافت کارآمد و آموزنده در مورد ویژگی‌ها و مصرف آنها اجرا شود. این جنبه موضوع مهم است زیرا مصرف‌کنندگان با توجه به سطح اطلاعاتی که دارند در مورد مصرف تصمیم‌گیری می‌کنند.

Reference

1- Hasler CM. The changing face of functional foods. Journal of the American College of Nutrition. 2000; 19(5 Suppl):499S-506S.

2- Rehault-Godbert S, Guyot N, Nys, Y. The golden egg: nutritional value, bioactivities, and emerging benefits for human health. Nutrients. 2019; 11:684.
3- doi:10.3390/nu11030684.

4- Surai PF, Sparks NHC. Designer eggs: From improvement of egg composition to functional food. Trends Food Science and Technology. 2001; 12:7-16.

5- Bhat ZF, Kumar S, Kumar P. Production of designer eggs. In: Animal products technology (Ed.: Mandal PK, Biswas A K.). India, Studium Press Pvt. Ltd. 2013; pp. 543-568.

6- American Dietetic Association. Position of the American dietetic association. Phytochemicals and functional foods. Journal of American Dietetic Association. 1995; 95:493-496.

7- Welch AA, Shakya-Shrestha S, Lentjes MAH, Wareham NJ, Khaw KT. Dietary intake and status of n-3 polyunsaturated fatty acids in a population of fish-eating and non-fish-eating meat eaters, vegetarians, and vegans and the precursor-product ratio of alpha-linolenic acid to long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids. American Journal of Clinical Nutrition. 2011; 93: 676.

8- Molendi-Coste O, Legry V, Leclercq IA. Why and how meet n-3 PUFA

healthcare products: commercial potential, market space, and sustainability. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2019; 18:1882-1897.

16- Garcia-Maldonado E, Gallego-Narbon A, Cowboy MP. Are vegetarian diets nutritionally adequate? A review of the scientific evidence. Nourish Hospital. 2019; 36:950-961.

17- Haug A, Nyquist NF, Thomassen M, Hostmark AT, Ostbye TK. N-3 fatty acid intake altered fat content and fatty acid distribution in chicken breast mscle, but did not influence mRNA expression of lipid-related enzymes. Lipid in Health and Disease. 2014; 13:92.

18- Jiang Z, Ahn DU, Sim JS. Effects of feeding flax and two types of sunflower seeds on fatty acid composition of yolk lipid classes. Poultry Science. 1991; 70:2467-2475.

19- Bautista-Ortega J, Goeger DE, Cherian G. Egg yolk omega-6 and oega-3 fatty acids modify tissue lipid components, antioxidant status, and ex vivo eicosanoid production in chick cardiac tissue. Poultry Science. 2009; 100:887–899. doi: 10.3382/ps. 2009-00027.

20- Irawan A, Ningsih N, Hafizuddin, Rusli RK, Suprayogi WPS, Akhirini N, Hadi RF, Setyono W, Jayanegara A. Supplementary n-3 fatty acids sources on performance and formation of omega-3 in egg of laying hens: a meta-analysis. Poultry Science. 2022; 101:101566. doi.org/10.1016/j.psj.2021.101566.

21- Lee SH, Kim YB, Kim DH, Lee DW, Lee HG, Jha R, Lee KW. Dietary soluble flaxseed oils as a source of dietary recommendations? Gastroenterology Research and Practice. 2011; doi:-10.1155/2011/364040.

9- Tamini LD, Doyon M, Zan MM. Investment behavior of Canada egg producers: Analyzing the impacts of change in risk aversion and in the variability of eggs prices and production costs. British Food Journal. 2018; 120:96-107.

10- Mason RP, Libby P, Bhatt DL. Emerging mechanisms of cardiovascular protection for the omega-3 fatty acid eicosapentaenoic acid. Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology. 2020; 40:1135–1147.

11- Alagawany M, Elnesr SS, Farag MR, Abd El-Hack ME, Khafaga AF, Taha AE, et al. Omega-3 and omega-6 fatty acids in poultry nutrition: effect on production performance and health. Animals. 2019; 9:573.

12- Fraeye I, Bruneel Ch, Lemahieu Ch, Buyse J, Muylaert K, Foubert I. Dietary enrichment of eggs with omega-3 fatty acids: A review. Food Research International. 2012; 48:961-969. doi:10.1016/j.foodres.2012.03.014.

13- Khan SU, Lone AN, Khan MS, Virani SS, Blumenthal RS, Nasir K, et al. Effect ofomega-3 fatty acids on cardiovascular outcomes: a systematic review and meta-analysis. EClinica. 2021; 38:-100997.

14- McEvoy CT, Temple N, Woodside JV. Vegetarian diets, low-meat diets and health: a review. Public Health Nutrition. 2012; 12:2287-2294.

15- Malchira NU, Mehar JG, Mudliar SN, Shekh AY. Recent advances in microalgal bioactives for food, feed, and

28- Austria JA, Richard MN, Chahine MN, Edel AL, Malcolmson LJ, Dupasquier CMC, Pierce GN. Bioavailability of alpha-linolenic acid in subjects after ingestion of three different forms of flaxseed. Journal of the American College of Nutrition. 2008; 27:214-221.

29- Ehr IJ, Persia ME, Bobeck EA. Comparative omega-3 fatty acid enrichment of egg yolks from first-cycle laying hens fed flaxseed oil or ground flaxseed. Poultry Science. 2017; 96:1791–1799. doi.org/10.3382/ps/pew462.

30- Huang S, Baurhoo B, Mustafa A. Effects of feeding extruded flaxseed on layer performance, total tract nutrient digestibility, and fatty acid concentrations of egg yolk, plasma and liver. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2020; 00:1-10. doi: 10.1111/jpn.13364.

31- Moran CA, Morlacchini M, Keegan JD, Fusconi G. Increasing the omega-3 content of hen's eggs through dietary supplementation with aurantiochytrium limacinum microalgae: effect of inclusion rate on the temporal pattern of docosahexaenoic acid enrichment, efficiency of transfer, and egg characteristics. Journal of Applied Poultry Research. 2019; 28:329–338.

32- Omri B, Chalghoumi R, Izzo L, Ritieni A, Lucarini M, Durazzo A, Abdouli H, Santini A. Effect of dietary incorporation of linseed alone or together with tomato-red pepper mix on laying hens' egg yolk fatty acids profile and health lipid indexes. Nutrients. 2019; 11:1-13.

33- Hayat Z, Cherian G, Pasha TN, Khattak FM, Jabbar MA. Oxidative omega-3 polyunsaturated fatty acids for laying hens. Poultry Science. 2021; 100:101276.

22- Aguillon-Paez YJ, Romero LA, Diaz GJ. Effect of full-fat sunflower or flaxseed seeds dietary inclusion on performance, egg yolk fatty acid profile and egg quality in laying hens. Animal Nutrition. 2020; 6: 179-184.

23- Harris WS, Mozaffarian D, Lefevre M, Toner CD, Colombo J, Cunnane SC, et al. Towards establishing dietary reference intakes for eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids. Journal of Nutrition. 2009; 139:804S-819S.

24- Jia W, Slominski BA, Guenter W, Humphreys A, Jones O. The effect of enzyme supplementation on egg production parameters and omega-3 fatty acid deposition in laying hens fed flaxseed and canola seed. Poultry Science. 2008; 87:2005–2014.

25- Goyal A, Sharma V, Upadhyay N, Gill S, Sihag M. Flax and flaxseed oil: An ancient medicine & modern functional food. Journal of Food Science and Technology. 2015; 51:1633-1653.

26- Leeson S, Summers JD, Caston LJ. Response of layers to dietary flaxseed according to body weight classification at maturity. Journal of Applied Poultry Research. 2000; 9:297-302.

27- Shakoor H, Issa Khan M, Sahar A, Kashif Iqbal Khan M, Faiz F, Basheer Ahmad H. Development of omega-3 rich eggs through dietary flaxseed and bioevaluation in metabolic syndrome. Food Science and Nutrition. 2020; 8:2619-2626.

stability and lipid components of eggs from flax-fed hens: Effect of dietary antioxidants and storage. Poultry Science. 2010; 89:1285-1292.

34- Poureslami R, Raes K, Huyghebaert G, Batal AB, De Smet S. Egg yolk fatty acid profile in relation to dietary fatty acid concentrations. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2012; 92:366-372.

35- Coorey R, Novinda A, Williams H, Jayasena V. Omega-3 fatty acid profile of eggs from laying hens fed diets supplemented with chia, fish oil, and flaxseed. Journal of Food Science. 2015; 80(1):S180-S187.

36- Shapira N, Weill P, Loewenbach R. Egg fortification with n-3 polyunsaturated fatty acids (PUFA): nutritional benefits versus high n-6 PUFA western diets, and consumer acceptance. Israel Medical Association Journal. 2008; 10-(4):262-265.

37- Raatz SK, Redmon JB, Wimmergren N, Donadio JV, Bibus DM. Enhanced absorption of n-3 fatty acids from emulsified compared with encapsulated fish oil. Journal of American Dietetic Association. 2009; 109:1076-1081.

38- Maharjan P, Rahimi A, Harding KL, Vu TC, Malheiros R, Oviedo-Rondon EO, et al. Effects of full-fat high-oleic soybean meal in layer diets on nutrient digestibility and egg quality parameters of a white laying hen strain. Poultry Science. 2023; 102:102486. doi.org/10.1016/j.psj.2023.102486.

39- Palomar M, Soler MD, Tres A, Barroeta AC, Munoz-Nunez M, Garces-Narro C. Influence of free fatty acid content and degree of fat saturation in laying hen diets on egg quality, yolk fatty acid profile, and cholesterol content. Poultry Science. 2023; 102:102236. doi.org/10.1016/j.psj.2022.102236.

40- Cherian G, Sim, JS. Effect of feeding full fat flax and canola seeds to laying hens on the fatty acid composition of eggs, embryos, and newly hatched chicks. Poultry Science. 1991; 70:917-922.

41- Shahidi F, Ambigaipalan P. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and their health benefits. Annual Review of Food Science and Technology. 2018; 9:345-381.

42- Brelaz KCBTR, Cruz FGG, Brasil RJM, Silva AF, Rufino JPF, Costa VR, Viana Filho GB. Fish waste oil in laying hens diets. Brazilian Journal of Poultry Science. 2019; 21:1-10.

43- Kralik G, Kralik Z, Grcevic M, Galovic O, Hanzek D, Biazik E. Fatty acid profile of eggs produced by laying hens fed diets containing different shares of fish oil. Poultry Science. 2021; 100:101379. doi.org/10.1016/j.psj.2021.101379.

44- Mariod AA, Mukhtar MAE, Salih ME, Herwan T. 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. 2015; 1:38-42.

45- Ceylan N, Ciftci I, Mzrak C, Kahraman Z, Efil H. Influence of different dietary oil sources on performance and fatty acid profile of egg yolk in laying hens. Journal of Animal Feed Science. 2021; 20:71-83.

46- Baucells MD, Crespo N, Barroeta AC, Lopez-Ferrer S, Grashorn MA. Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs. Poultry Science. 2000; 79:51-59.

47- Basmacioglu H, Cabuk M, Unal K, Ozkan K, Akkan S, Yalcin H. Effects of dietary fish oil and flax seed on cholesterol and fatty acid composition of egg yolk and blood parameters of laying hens. South African Journal of Animal Science. 2003; 33:266-273.

48- Cachaldora P, Garia-Rebollar P, Alvarez C, Mendez J, De Blas JC. Double enrichment of chicken eggs with conjugated linoleic acid and n−3 fatty acids through dietary fat supplementation. Animal Feed Science and Technology. 2008; 144:315-326.

49- Gonzalez-Esquerra R, Leeson S. Effect of feeding hens regular or deodorized menhaden oil on production parameters, yolk fatty acid profile, and sensory quality of eggs. Poultry Science. 2000; 79:1597-1602.

50- Matos AP. The impact of microalgae in food science and technology. Journal of the American Oil Chemists Society. 2017; 94:1333-1350.

51- Lemahieu C, Bruneel C, Termote-Verhalle R, Muylaert K, Buyse J, Foubert I. Effect of different microalgal n-3 PUFA supplementation doses on yolk color and n-3 LC-PUFA enrichment in the egg. Algal Research. 2014; 6:119-123.

52- Liu B, Zhou Q, Zhu J, Lin G, Yu D, Ao T. Time course of nutritional and functional property changes in egg yolk from laying hens fed docosahexaenoic acid-rich microalgae. Poultry Science. 2020; 99:4616-4625. doi.org/10.1016/j.psj.2020.06.007.

53- Feng J, Long S, Zhang H, Wu S, Qi G, Wang J. Comparative effects of dietary microalgae oil and fish oil on fatty acid composition and sensory quality of table eggs. Poultry Science. 2020; 99:1734-1743. doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.005.

54- Elkin RG, El-Zenary ASA, Bomberger R, Haile AB, Weaver EA, Ramachandran R, Harvatine KJ. Feeding laying hens docosa hexaenoic acid-rich microalgae oil at 40 g/kg diet causes hypotriglyceridemia, depresses egg production, and attenuates expression of key genes affecting hepatic triglyceride synthesis and secretion, but is rescued by dietary co-supplementation of high-oleic sunflower oil. Poultry Science. 2023; 102:102318. doi.org/10.1016/j.psj.2022.102318.

55- Mens AJW, van Krimpen MM, Kar SK, Guiscafre FJ, Sijtsma L. Enriching table eggs with n-3 polyunsaturated fatty acids through dietary supplementation with the phototrophically grown green algae Nannochloropsis limnetica: effects of microalgae on nutrient retention, performance, egg characteristics and health parameters. Poultry Science. 2022; 101:101869. doi.org/10.1016/j.psj.2022.101869.

56- Nitsan Z, Mokady S, Sukenik A. Enrichment of poultry products with omega 3 patty acids by dietary supplementation with the alga Nannochloropsis and mantur oil. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 1999; 47:5127-5132.

57- Fredriksson S, Elwinger K, Pickova J. Fatty acid and carotenoid composition of egg yolk as an effect of microalgae addition to feed formula for laying hens. Food Chemistry. 2006; 99:-530-537.

58- Bukhari AS, Lutz LJ, Smith TJ, Hatch-McChesney A, O'Connor KL, Carrigan CT, et al. A food-based intervention in a military dining facility improves blood fatty acid profile. Nutrients. 2022; 14:743. doi.org/10.3390/nu14040743.

59- Agostoni C, Bresson JL, Fairweather-Tait S. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA); Scientific Opinion related to the Tolerable Upper Intake Level of eicosapentaenoic acid (EPA), docosahexaenoic acid (DHA) and docosapentaenoic acid (DPA). EFSA Journal. 2012; 10:2815.

60- Young AJ, Marriott BP, Champagne CM, Hawes MR, Montain SJ, Johannsen NM, Berry K, Hibbeln JR. Blood fatty acid changes in healthy young Americans in response to a 10-week diet that increased n-3 and reduced n-6 fatty acid consumption: A randomised controlled trial. British Journal of Nutrition. 2017; 117:1257-1269.

61- Ferrier L, Caston L, Leeson S, Jamessquires E, Celi B, Thomas L, et al. Changes in serum lipids and platelet fatty acid composition following consumption of eggs enriched in alpha-linolenic acid (LnA). Food Research International. 1992; 25.

62- Jiang ZR, Sim JS. Consumption of n−3 polyunsaturated fatty acid-enriched eggs and changes in plasma-lipids of human-subjects. Nutrition. 1993; 9:513-518.

63- Cherian G, Sim JS. Changes in the breast milk fatty acids and plasma lipids of nursing mothers following consumption of n−3 polyunsaturated fatty acid enriched eggs. Nutrition. 1996; 12.

64- Oh SY, Ryue J, Hsieh CH, Bell DE. Eggs enriched in omega-3 fatty acids and alterations in lipid concentrations in plasma and lipoproteins and in blood pressure. American Journal of Clinical Nutrition. 1991; 54.

65- Farrell DJ. Enrichment of hen eggs with n−3 long-chain fatty acids and evaluation of enriched eggs in humans. American Journal of Clinical Nutrition. 1998; 68.

66- Gillingham L, Caston L, Leeson S, Hourtovenko K, Holub B. The effects of consuming docosahexaenoic acid (DHA)-enriched eggs on serum lipids and fatty acid compositions in statin-treated hypercholesterolemic male patients. Food Research International. 2005; 38.

67- Bovet P, Faeh D, Madeleine G, Viswanathan B, Paccaud F. Decrease in blood triglycerides associated with the consumption of eggs of hens fed with food supplemented with fish oil. Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases. 2007; 17.

68- Maki KC, Van Elswyk ME, McCarthy D, Seeley MA, Veith PE, Hess SP, et al. Lipid responses in mildly hypertriglyceridemic men and women to consumption of docosahexaenoic acid-enriched eggs. International Journal for Vitamin and Nutrition Research. 2003; 73:357-368.

69- Palmieri N, Stefanoni W, Latterini F, Pari L. Factor's influencing Italian consumers' willingness to pay for eggs enriched with omega-3-fatty acids. Fods. 2022; 11:545. doi.org/10.3390/foods11040545.

Vol.3/No.1/Summer 2023/Pages 76-95 https://www.qafj.iauk.ac.ir

Functional Egg; Enriched with Omega Fatty Acids

Dariush Khademi Shurmasti[1], Abdullah Alizadeh Karsalari[2*], Hoda Shokri[3]
1- Assistant Professor, Department of Agriculture, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran
2- Assistant Professor, Department of Chemistry, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran
3- Shahid Yahyanejad Hospital, Babol University of Medical Sciences, Babol, Iran
* Corresponding Author: alizadeh3502@gmail.com
Received: 4/4/2023, Accepted: 5/7/2023

Abstract
The health benefits of omega-3 polyunsaturated fatty acids (n-3 PUFA) are generally recognized. Unfortunately, in most countries, the recommended daily intake of these compounds is rarely met. Therefore, the enrichment of commonly occurring foods and the production of functional foods can increase intake of these fatty acids. From this point of view, eggs are an interesting target due to their superior nutritional value and low cost, because they form an integral part of the diet. Their n-3 PUFA profile can be modified through dietary supplements. For this purpose, the oilseeds such as flaxseed, rapeseed, camelina, plant sources rich in alpha-linolenic acid and fish oil, which is rich in long-chain n-3 PUFA eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) have been used. A more recent trend is feed supplementation with microalgae as a source of EPA and/or DHA. On the other hand, it seems necessary to use effective approaches to increase people's awareness of consuming functional foods. In this paper, recent scientific literature concerning n−3 PUFA enrichment in eggs is reviewed, giving an overview of advantages and disadvantages of the different approaches and the effect of consuming enriched eggs on human health was presented.

Keywords: Eicosapentaenoic Acid (EPA), Omega Fatty Acids, Docosahexaenoic Acid (DHA), Designer Egg, Enrichment