تخم‌مرغ‌های فراسودمند؛ الف) غنی‌شده با مواد معدنی، ویتامین‌ها و رنگدانه‌ها

داریوش خادمی شورمستی*

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

* نویسنده مسئول: dkhademi@gmail.com

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱/۲۹، پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۳/۱۷

چکیده

تخم‌مرغ منبعی از ترکیبات ضروری حیاتی در نظر گرفته می‌شود که مواد مغذی را در یک بسته‌بندی بیولوژیکی فراهم می‌کند. امروزه با توجه به افزایش سطح آگاهی‌ها، کیفیت حسی و تغذیه‌ای تخم‌مرغ به یک دغدغه فزاینده برای مصرف‌کنندگان تبدیل شده است. لذا تقاضا برای تخم‌مرغ‌های دارای ویژگی‌ها و اثربخشی فراتر از یک غذای معمول از جمله تخم‌مرغ‌های غنی‌شده با مواد مغذی مانند مواد معدنی کمیاب (سلنیوم، آهن، روی، ید، مس و غیره)، ویتامین‌ها (محلول در آب و محلول در چربی)، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی (مانند کاروتنوئیدها) رو به افزایش است. دستیابی به این هدف به سادگی از طریق رویکردهای تغذیه‌ای که منجر به تولید تخم‌مرغ‌های طراح می‌شود، ممکن و مقرون به‌صرفه است. بدین ترتیب تخم‌مرغ‌های فراسودمند برای مصرف‌کنندگانی که خواهان تخم‌مرغ‌هایی با خواص تغذیه‌ای متفاوت نسبت به تخم‌مرغ‌های معمولی هستند، گزینه‌های جدید و جذابی فراهم می‌کنند. در این مقاله، تلاش شده است تا رهیافت‌های تغذیه‌ای مختلف در پرورش و مدیریت مرغان تخمگذار جهت تولید تخم‌مرغ طراحی شده شامل اشکال مختلف مکمل‌های معدنی و آلی حاوی عناصر کمیاب، ویتامین‌ها و رنگدانه‌ها، مقادیر مورد نیاز روزانه و مقادیر تأمین شده توسط تخم‌مرغ‌های غنی‌شده جهت اعمال نقش بیولوژیک اختصاصی و نیز آثار سمیت ناشی از تداخل عمل برخی مکمل‌ها در سطوح مختلف مورد استفاده، بررسی شد. گرچه مشخص گردید که می‌توان به‌راحتی به تولید تخم‌مرغ‌های غنی‌شده از طریق رهیافت‌های تغذیه‌ای امیدوار بود لیکن اثبات ادعاهای سلامت‌بخش این تخم‌مرغ‌های طراح در مدل‌های انسانی نیازمند توجه به ترکیب و سازگاری آنها در جمعیت‌های مختلف و انجام آزمایشات تخصصی است.

واژه‌های کلیدی: تخم‌مرغ طراح، عناصر کمیاب، غذای فراسودمند، غنی‌سازی، کاروتنوئیدها

مقدمه

اگرچه تولید غذا در حال افزایش است، همچنان میلیون‌ها نفر در سراسر جهان غذای کافی برای داشتن یک زندگی فعال عادی دریافت نمی‌کنند. برای مقابله با چنین شرایطی، تخم‌مرغ می‌تواند گزینه مناسبی باشد. تخم‌مرغ یکی از ارزان‌ترین منابع پروتئین حیوانی است که در سراسر جهان مصرف می‌شود. البته مصرف جهانی تخم‌مرغ همواره با چالش‌هایی همراه بوده است و عواملی مانند محتوای کلسترول و مشکل آلودگی به سالمونلا بر مصرف تخم‌مرغ تأثیر گذاشته است. بنابراین، تحقیق و توسعه فرآیندهای جدید و محصولات جدید تخم‌مرغ با ارزش افزوده، موجب گسترش صنعت تخم‌مرغ خواهد شد. یک تخم‌مرغ ۵۰ گرمی، با حدود ۷۰ کیلوکالری انرژی، طیف وسیعی از ویتامین‌ها و مواد معدنی ضروری و ترکیبات زیست‌فعال را تأمین می‌کند. تخم‌مرغ عمدتاً از پروتئین و لیپیدها تشکیل شده است. بخش پروتئین بسیار قابل هضم است و حاوی مهمترین اسیدهای آمینه ضروری است. لیپیدهای زرده تخم‌مرغ از تری‌گلیسیرید، فسفولیپیدها، کلسترول و اسیدهای چرب آزاد تشکیل شده است. برخی از لیپیدهای زرده مانند اسیدهای چرب امگا ۳ برای تغذیه یا سلامتی مناسب هستند. علاوه بر این، تخم‌مرغ حاوی ویتامین‌ها و مواد معدنی اصلی است. از آنجایی‌که تخم‌مرغ تعادلی از مواد مغذی ضروری را فراهم می‌کند که به حفظ زندگی و رشد کمک می‌کند، اغلب به‌عنوان غذای کامل شناخته می‌شود.

به‌منظور بهبود رژیم غذایی انسان می‌توان برخی از این مواد مغذی موجود در تخم‌مرغ را با تغییراتی در جیره غذایی آنها دستکاری کرد. با دستکاری مواد مغذی تخم-مرغ می‌توان تخم‌مرغ‌هایی با زرده و سفیده غنی‌شده تولید کرد. از این رو شرکت‌های تولیدکننده برندهای اصلی تخم‌مرغ، برای برآورده کردن تقاضای مصرف‌کنندگان در

سراسر جهان، "تخم‌مرغ‌های طراح" را تولید می‌کنند. به‌طورکلی تخم‌مرغ‌های طراح آن‌هایی هستند که محتواشان مطابق با انتخاب مصرف‌کننده یا تقاضای بازار از تخم‌مرغ استاندارد، اصلاح یا طراحی شده است (۱). تخم‌مرغ‌های طراح از طریق دستکاری جیره‌های طیور و بکارگیری افزودنی‌هایی مانند آنتی‌اکسیدان‌ها، مواد معدنی، اسیدهای چرب امگا، ویتامین‌ها و افزودنی‌های غیر مغذی مختلف تولید می‌شوند (۲).

امروزه کیفیت حسی و تغذیه‌ای تخم‌مرغ به یک دغدغه فزاینده برای مصرف‌کنندگان تبدیل شده است. همچنین جدای از قیمت، ویژگی‌های فیزیکی مانند اندازه تخم‌مرغ، رنگ زرده و همچنین تازگی، معیارهای مهمی برای مصرف‌کننده هنگام خرید تخم‌مرغ می‌باشد. در حال حاضر تقاضای فزاینده‌ای برای تخم‌مرغ‌های غنی‌شده از مواد مغذی مانند اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه، ویتامین‌ها، مواد معدنی، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی وجود دارد، زیرا این غنی‌سازی می‌تواند وضعیت سلامت و رفاه مصرف‌کنندگان را بهبود بخشد. علاوه بر این، باید در نظر داشت که معمولاً تخم‌مرغ یک غذای سنتی و مقرون به‌صرفه در بسیاری از کشورها و فرهنگ‌هاست، بنابراین، تخم‌مرغ‌های غنی‌شده باید به‌طور واقعی مورد پذیرش عموم قرار گیرد (۳). در طراحی باید امکانات تولید، مواد موجود، دانش فنی، منابع اقتصادی تولیدکنندگان و اثرات زیست محیطی با مسائل رفاهی در نظر گرفته شود. در این مقاله تلاش شده است تا دستکاری اجزای مختلف جیره مرغان تخمگذار شامل موادمعدنی، ویتامین‌ها و رنگدانه‌ها برای تولید تخم‌مرغ‌های غنی شده مورد بررسی قرار گیرد.

موادمعدنی

غنی‌سازی تخم‌مرغ با مواد معدنی کمیاب به‌عنوان راهکاری جهت پیشگیری از سوء تغذیه این دسته از ریزمغذی‌ها در نظر گرفته می‌شود که در چند سال اخیر به‌شدت افزایش یافته است. سوء تغذیه ریزمغذی‌ها بر همه گروه‌های سنی تأثیر منفی می‌گذارد، اما خطر کمبود ریز مغذی‌ها در میان کودکان و زنان جوان در سنین باروری تا حدودی بالا است. غنی‌سازی تخم‌مرغ یک راه مؤثر برای رساندن این مواد معدنی مهم به بدن انسان است. هم مواد معدنی پرنیاز و هم کمیاب اضافه شده به جیره طیور به‌طور سنتی از منابع غیر آلی مانند اکسیدها، سولفات‌ها، کلریدها، کربنات‌ها و فسفات‌ها به‌دست می‌آیند. مواد معدنی کمیاب آلی ترکیباتی هستند متشکل از یون‌های فلزی متصل به مواد آلی، از جمله اسیدهای آمینه، پپتیدها، یا کمپلکس‌های پلی‌ساکارید، که زیست‌فراهمی، پایداری و حلالیت بالایی برای این یون‌ها فراهم می‌کنند. از آنجایی‌که زیست‌فراهمی مواد معدنی آلی در تأمین مواد معدنی بدن بسیار مؤثر است، غنی‌سازی تخم‌مرغ با مولتی مینرال‌ها می‌تواند راه مؤثری برای تأمین مواد معدنی به انسان باشد (۴). این نکته هم حائز اهمیت است که در یک مکمل معدنی موفق، سطوح و ترکیب مواد معدنی مورد استفاده نباید تاثیر منفی بر پارامترهای تولید تخم‌مرغ و کیفیت تخم‌مرغ در حین غنی‌سازی تخم‌مرغ داشته باشد. لذا در بکارگیری نوع و مقدار مکمل‌های مواد معدنی این موضوع را نیز باید در نظر داشت.

سلنیوم

سلنیوم به‌عنوان یک عنصر کمیاب ضروری برای سلامتی، دارای خواص آنتی‌اکسیدانی است. علاوه بر این این عنصر بخشی جدایی‌ناپذیر از برخی آنزیم‌ها از جمله گلوتاتیون پراکسیداز، یدوتیرونین دی‌یدیناز نوع I و تیوردوکسین ردوکتاز است که به کنترل سطوح پراکسید هیدروژن و پراکسیدهای لیپیدی که در طول فعالیت‌های متابولیک طبیعی تولید می‌شوند، کمک می‌کند. ضمن اینکه، سلنیوم برای فعالیت سیستم ایمنی ضروری است. بنابراین، سلنیوم مزایایی فراتر از برآوردن نیازهای اساسی تغذیه‌ای دارد (۵). در حال حاضر، میزان توصیه شده در رژیم غذایی بزرگسالان حدود ۵۵ میکروگرم در روز است (۶). با این حال، شواهدی وجود دارد که دریافت بیشتر سلنیوم در رژیم غذایی در محدوده ۱۰۰ تا ۳۰۰ میکروگرم در روز ممکن است مزایای سلامتی احتمالی مانند جلوگیری از خطر سرطان داشته باشد. این افزایش مصرف سلنیوم را می‌توان از طریق مکمل یا از طریق مصرف غذاهای غنی‌شده با سلنیوم بدست آورد. لازم به ذکر است که اگرچه سلنیوم یک ماده مغذی ضروری

است، مصرف بیش از حد آن می تواند اثرات سمی داشته باشد (۷). در این رابطه نتایج مطالعه‌ای نشان داد که تغذیه تا ۵/۱ میکروگرم بر گرم سلنیوم آلی (مخمری) تأثیری بر تولید تخم‌مرغ و رفاه مرغ تخمگذار نداشت و روشی عملی برای تولید تخم مرغ غنی شده با سلنیوم برای مصرف‌کنندگان است (۳).

مطالعات متعددی نشان دادند که با تغییر محتوای سلنیوم جیره طیور، محتوای سلنیوم در تخم‌ها به‌راحتی قابل دستکاری کردن است. نشان داده شده است که تخم-مرغ های غنی‌شده با سلنیوم منبع خوبی از این ماده معدنی برای انسان هستند (۸). امروزه استفاده از مکمل-های جیره‌ای سلنیوم به اشکال معدنی مانند سلنیت سدیم، سلنیت و نانوسلنیوم، و نیز اشکال آلی، مانند مخمر سلنیوم، سلنیوم متیونین (SeMet)، OH-SeMet و Zine-SeMet در صنعت طیور رواج یافته است. در این رابطه سلنیوم آلی نسبت به انواع معدنی به‌طور مؤثرتری در تخم‌مرغ‌ها رسوب می‌کند. مکمل‌سازی بهینه سلنیوم نه تنها برای سلامتی طیور بلکه برای اطمینان از دسترسی گوشت و تخم‌مرغ غنی‌شده با سلنیوم به مصرف‌کنندگان نیز ضروری است. مطالعات قبلی نشان دادند که عوارض بالینی ناشی از نارسی در نوزادان انسان را می‌توان با مصرف مکمل سلنیوم به حداقل رساند. ضمن اینکه اثرات مثبت سلنیوم بر روی بیماران مبتلا به بیماری عروق کرونر، برای جلوگیری از تغییرات متابولیکی ناشی از عدم فعالیت بدنی و رشد و تمایز طبیعی میوکارد گزارش گردید. بنابراین، افزایش محتوای سلنیوم در غذاهای رایج انسان برای بهبود سلامت کلی ضروری است (۵، ۹).

انتقال سلنیوم به تخم‌مرغ به منبع و میزان آن در جیره بستگی دارد. نشان داده شد که محتوای سلنیوم در زرده تخم‌مرغ با افزودن ۰/۱۵ تا ۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در جیره افزایش می‌یابد (۱۰). ضمن اینکه ارائه سلنیوم آلی در غلظت‌های ۰/۵- ۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در جیره منجر به تجمع حدود ۳۰ درصد سلنیوم بیشتر در مقایسه با غلظت‌های مشابه از سلنیوم معدنی می‌شود (۱۱). در عین حال سطح مکمل سلنیوم و محتوای آن در زرده ممکن است به گونه‌های پرندگان، سن، ترکیب جیره، منبع سلنیوم، سطح سلنیوم و شرایط سلامت پرنده نیز در ارتباط باشد (۱۲). نتایج تحقیقات نشان داد که افزودن سلنیوم به میزان ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره به فرم آلی (مخمری) منجر به رسوب بیشتر سلنیوم در تخم مرغ نسبت به سلنیت سدیم و تولید تخم‌مرغ غنی شده با سلنیوم شد (۱۲) (جدول ۱).

جدول ۱- تأثیر منابع و سطوح مختلف مکمل‌سازی سلنیوم بر محتوای سلنیوم تخم‌مرغ

فراسنجه	جیره پایه	سلنیوم مخمری		سلنیوم سدیم	
		۰/۳ mg/kg	۰/۵ mg/kg	۰/۳ mg/kg	۰/۵ mg/kg
محتوای سلنیوم (mg/kg)	۰/۲۶۸۳±۰/۰۵۹ [a]	۰/۴۹۲۰±۰/۰۱۷ [b]	۰/۶۴۹۱±۰/۰۱۴ [c]	۰/۴۷۸۰±۰/۰۲۵ [b]	۰/۵۱۰۷±۰/۰۱۲ [b]

ید

ید یک عنصر ریز مغذی ضروری برای انسان و حیوان است و برای سنتز هورمون‌های تیروئیدی تیروکسین، تری‌یدوتیرونین و مولکول‌های ید دار اسید آمینه تیروزین مورد نیاز است. کمبود ید هنوز یک مشکل بزرگ در سراسر جهان است. بر اساس تخمین سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۱۹، حدود ۸/۵ درصد از جمعیت جهان دریافت ید روزانه کمتر از حد مورد نیاز دارند که بسته به سن، جنسیت و عوامل دیگر (مانند بارداری و شیردهی) بین ۶۵ تا ۲۹۰ میلی‌گرم است. اگرچه در اکثر کشورها منجمله کشورمان یک برنامه فشرده کنترل کمبود ید، عمدتاً مبتنی بر غنی‌سازی نمک با موفقیت طراحی و اجرا شده است، با این حال، اثربخشی این رویکرد تا حد زیادی به وضعیت اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی جمعیت مورد نظر بستگی دارد. با این وجود یافتن راه‌های دیگر برای از بین بردن اختلالات کمبود ید به‌شدت احساس می‌شود. یکی از این روش‌ها غنی‌سازی تخم‌مرغ با ید است. محتوای ید تخم‌مرغ می‌تواند بسته به دریافت آن از طریق جیره، تغییر نماید. مطالعات متعددی

در رابطه با انتقال ید از جیره مرغان تخمگذار به تخم‌مرغ گزارش شده است. با این حال، غلظت ید گزارش‌شده تخم‌مرغ‌ها به‌دلیل تغییر در سن مرغ‌ها، میزان تخم‌گذاری و روش‌های شیمیایی مورد استفاده برای تعیین ید به‌طور قابل‌توجهی متفاوت است. بنابراین با توجه به این واقعیت که مصرف بیش از حد ید می‌تواند از طریق رسوب در زرده منجر به اختلال عملکرد تیروئید در مصرف‌کنندگان شود، لذا امکان توصیه دقیق سطح خاصی از ید رژیم غذایی امکان‌پذیر نیست (۱۳).

در جیره طیور، ید ممکن است به شکل نمک‌های معدنی مانند یدید پتاسیم (KI)، یدات پتاسیم (KIO_3) و یدات کلسیم ($Ca(IO_3)_2$) یا نمک‌های آلی مانند اتیلن دی‌آمین دی‌هیدرویدید (EDDI) استفاده شود که در مخلوط‌های معدنی مخلوط می‌شوند (۱۴). نتایج تحقیقات نشان داد که مکمل‌سازی مخمر یدی در جیره غذایی مرغ‌های تخم‌گذار روشی مؤثر برای افزایش غلظت ید در تخم‌ها است (جدول ۲) و در نتیجه می‌تواند در رفع اختلالات کمبود ید در انسان‌های مصرف‌کننده تخم‌مرغ غنی‌شده با ید مؤثر باشد (۱۵). ضمن اینکه بکارگیری ید به‌صورت یدید پتاسیم و یدات پتاسیم به مقدار ۱، ۳ و ۵ میلی‌گرم ید مکمل‌شده در هر کیلوگرم جیره توانست تجمع ید در زرده را به‌طور معنی‌داری بعد از ۳ و ۵ ماه دوره پرورشی افزایش دهد (۱۶) (جدول ۳).

جدول ۲- تأثیر مکمل‌سازی ید مخمری بر محتوای ید در زرده و پوسته تخم‌مرغ

فراسنجه	شاهد (mg of I/kg)	ید مخمری (mg of I/kg)		P-value
		۱ میلی‌گرم	۲ میلی‌گرم	
غلظت اولیه ید (µg)				
در زرده تخم‌مرغ	۷/۳۲	۷/۳۵	۷/۴۵	۰/۳۴۷
در پوسته تخم‌مرغ	۴۷/۷ a	۴۰/۷ a	۳۱/۹ b	۰/۰۰۱
غلظت ید پس از ۱۲ هفته (µg)				
در زرده تخم‌مرغ	۹/۱۶ a	۱۶/۲ b	۱۷/۷ b	<۰/۰۰۱
در پوسته تخم‌مرغ	۱۹۸ a	۲۲۶ a	۵۸۴ b	<۰/۰۰۱

جدول ۳- تجمع ید (µg/kg) در محتوای تخم‌مرغ پس از ۳ و ۵ هفته

	غلظت ید					
	۱ mg به‌صورت KI	۳ mg به‌صورت KI	۵ mg به‌صورت KI	۱ mg به‌صورت KIO_3	۳ mg به‌صورت KIO_3	۵ mg به‌صورت KIO_3
پس از ۳ ماه	۳۲۷	۴۹۰	۱۱۶۸	۴۰۸	۶۳۰	۱۰۰۶
پس از ۵ ماه	۴۶۶	۹۹۵	۱۳۲۵	۲۷۱	۶۱۸	۱۳۷۱
	منبع ید		سطح مکمل ید (mg)			
	KI	KIO_3	۱	۳	۵	
پس از ۳ ماه	۶۲۲	۵۷۱	۲۶۰ a	۵۱۹ b	۱۰۱۱ c	
پس از ۵ ماه	۸۱۶ a	۶۹۸ b	۳۱۰ a	۷۰۵ b	۱۲۵۶ c	

آهن

مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان تخم‌مرغ همواره نگران کیفیت آن هستند. با افزایش آگاهی‌های عمومی و استانداردهای زندگی، مردم نه تنها به ویژگی‌های تغذیه‌ای غذاها اهمیت می‌دهند، بلکه به ایمنی و سلامتی نیز اهمیت می‌دهند. با این حال، با توسعه صنعت تخم‌مرغ تجاری، بنظر می‌رسد کیفیت تخم‌مرغ تحت‌الشعاع کمیت آن قرار گرفته است. در عین حال همان‌طور که پیشتر گفته شد؛ افزودن عناصر کمیاب به جیره برای بهبود

عملکرد تولید و رسوب آنها در محتوای تخم‌مرغ، یک رویکرد ضروری برای بهبود کیفیت تخم‌مرغ است.

آهن یکی از ضروری‌ترین عناصر کمیاب برای طیور است که در بسیاری از واکنش‌های ضروری از جمله حمل و نقل و ذخیره اکسیژن، مشارکت در تأمین انرژی، متابولیسم پروتئین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ایمنی شرکت می‌کند. Bess و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند که تأمین غلظت مناسب آهن می‌تواند غلظت این عنصر در تخم‌مرغ را بهبود بخشد (۱۷). در حال حاضر، مکمل آهن معمول مورد استفاده در صنعت خوراک، سولفات آهن ($FeSO_4$) است که جذب کمی دارد و باعث ضایعات و آلودگی می‌شود. از طرف دیگر، محققان دریافتند که منابع آلی (کمپلکس‌های اسید آمینه) نسبت به منبع معدنی در حفظ مواد معدنی و کیفیت پوسته تخم‌مرغ مؤثرترند. Sun و همکاران (۲۰۱۲) اشاره کردند که دلیل نتایج متفاوت در ارزش بیولوژیکی مواد معدنی ممکن است ناشی از تفاوت قدرت کیلاته‌شدن یا لیگاندها در منابع آلی باشد (۱۸). ضمن اینکه اثبات شد که ماده معدنی کمیاب آلی با یک لیگاند آلی ارزش بیولوژیکی بهتری نسبت به اشکال سولفات برای جوجه‌های گوشتی دارد، زیرا جذب مواد معدنی از منابع غیرآلی ممکن است به‌دلیل تمایل آنها به تشکیل کمپلکس با ترکیبات جیره یا تداخل با یکدیگر محدود شود. در این رابطه Xie و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که آهن کیلاته‌شده با گلایسین در سطح ۶۰ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم جیره توانست کیفیت تخم‌مرغ و غنی‌سازی آهن تخم‌مرغ را بهبود بخشد. ضمن اینکه از نظر کیفیت تخم‌مرغ در مرغان تخمگذار برتر از سولفات آهن بود (۱۹) (جدول ۴). همچنین Saki و همکاران (۲۰۱۹) توانستند با استفاده از ضایعات پوست انار به‌عنوان منبع آلی آهن، محتوای آهن زرده تخم‌مرغ را افزایش دهند (۲۰).

جدول ۴- تأثیر مکمل‌سازی آهن-گلایسین بر غلظت آهن در پوسته، سفیده و زرده تخم‌مرغ

	شاهد به‌صورت سولفات آهن ۶۰ mg/kg	مکمل آهن-گلایسین (mg/kg)				
		صفر	۲۰	۴۰	۶۰	۸۰
پوسته (mg/kg)	۲/۲۸ ^{ab}	۱/۸۴ ^{c}	۲/۰۳ ^{bc}	۲/۲۶ ^{ab}	۲/۳۰ ^{a}	۲/۴۵ ^{a}
زرده (mg/kg)	۵۵/۹۷ ^{c}	۳۶/۴۰ ^{e}	۴۵/۵۹ ^{d}	۵۹/۸۱ ^{bc}	۶۳/۸۱ ^{ab}	۶۵/۴۶ ^{a}
سفیده (mg/kg)	۷/۵۷ ^{b}	۶/۳۱ ^{d}	۶/۷۲ ^{dc}	۷/۰۳ ^{c}	۸/۱۶ ^{a}	۸/۳۰ ^{a}

روی

روی به این دلیل که بخشی جدایی‌ناپذیر از بیش از ۳۰۰ سیستم آنزیمی است که در متابولیسم انرژی، کربوهیدرات‌ها، اسیدهای نوکلئیک و پروتئین نقش دارند، دارای اهمیت است. یکی از مهمترین عملکردهای روی مربوط به نقش آنتی‌اکسیدانی و مشارکت در سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی است. مکانیسمی که روی در آن اثر آنتی‌اکسیدانی خود را اعمال می‌کند به خوبی تعریف نشده است. با این حال پیشنهاد شده است که روی سنتز متالوتیونین را افزایش می‌دهد که به‌عنوان یک جاروب‌کننده رادیکال‌های آزاد عمل می‌کند. علاوه بر این، روی نقش کلیدی در سیستم ایمنی، انتقال و استفاده از ویتامین A ایفا می‌کند (۲۱). کمبود روی باعث مشکلات بسیاری به خصوص تأخیر در رشد بچه‌ها، تأخیر در بلوغ جنسی و کاهش ایمنی می‌شود. کودکان بین یک تا هشت سال روزانه به ۶- ۵ میلی‌گرم و بزرگسالان بیش از ۱۹ سال روزانه به حدود ۹-۴ میلی‌گرم روی نیاز دارند.

همانند سایر عناصر کمیاب مورد بررسی قبلی، کمپلکس‌های ارگانیک روی مانند روی- متیونین و روی- پروپیونات نیز منابع دردسترس‌تر و زیست‌فراهم‌تری از آن نسبت به اکسید روی یا سولفات روی برای مرغان تخمگذار هستند (۲۲). گزارش شده است که با افزودن ۱۵۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم به‌شکل روی- متیونین به جیره مرغان تخمگذار می‌توان تخم‌مرغ غنی‌شده با روی به‌دست آورد که می‌تواند ۱۹/۴۵ درصد از نیازهای روزانه

روی برای کودکان ۱ تا ۸ ساله را تأمین نماید. ضمن اینکه کارایی تجمع روی در تخم‌مرغ به این شکل بیشتر از فرم سولفات روی بود (۲۳). علاوه بر این، James و همکاران (۱۹۸۸) نشان دادند که مرغان تغذیه شده با سطوح بالای روی (۱۷۶۲ یا ۱۸۶۱ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره) تخم-مرغ‌هایی تولید کردند که حاوی ۵۷ تا ۹۵ درصد روی بیشتر از تخم‌مرغ‌های تولید شده توسط جیره شاهد (حاوی ۲۶ میلی‌گرم روی در کیلوگرم جیره) بود (۲۴). افزایش روی زرده ممکن است ناشی از افزایش تولید ویتیلین که پروتئین ناقل عناصر کم‌نیاز است، باشد. نتایج تحقیق دیگری نشان داد که افزایش سطح روی (۱/۵ گرم روی غیرآلی و ۱ گرم روی آلی) در جیره مرغان تخمگذار در هفته‌های ۸۵ و ۸۷ سبب افزایش معنی‌دار مقدار آن در کل تخم‌مرغ شد. اما با افزایش سطوح مورد استفاده افزایشی در محتوای روی تخم‌مرغ مشاهده نگردید. این فرض محتمل است که استفاده از سطوح بسیار زیاد روی در جیره، به‌دلیل تداخل عمل روی با عناصر دیگر ممکن است منجر به کاهش جذب و ذخیره آن در تخم‌مرغ و نیز سمیت شود (۲۵).

سایر عناصر معدنی

کروم یک عنصر ضروری برای متابولیسم کربوهیدرات، لیپید، پروتئین و اسید نوکلئیک، فعال‌کردن آنزیم‌های خاص و تثبیت پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک است. اثر مفید کروم در سلامت انسان به‌دلیل نقش آن به‌عنوان یک جزء جدایی‌ناپذیر از فاکتور تحمل گلوکز که با افزایش اثرات انسولین در متابولیسم گلوکز شرکت می‌کند، حائز اهمیت است. مصرف ۵۰ تا ۲۰۰ قسمت در بیلیون کروم سه ظرفیتی برای انسان بالغ توصیه می‌شود. Moghanaprya و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که محتوای کروم در زرده تخم بلدرچین با استفاده از کروم آلی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. محتوای کروم در گروه حاوی کروم معدنی در مقایسه با گروه حاوی کروم آلی بسیار کم بود. در بین گروه‌های حاوی کروم آلی، بلدرچین‌هایی که با کروم آلی همراه با مخمر تغذیه شدند، محتوای کروم بیشتری در زرده داشتند (۲۶).

مس به‌عنوان کوفاکتور در بسیاری از سیستم‌های آنزیمی از جمله سیتوکروم اکسیداز، لیزیل اکسیداز، سرولوپلاسمین و سوپراکسید دیسموتاز حضور دارد. با توجه به فعالیت ضدمیکروبی، تقویت رشد و اثرات آن بر متابولیسم لیپید، مس چندین دهه با غلظت‌های نسبتاً بالایی به جیره طیور اضافه شده است. با این حال، حداکثر سطح قابل تحمل مس در جیره برای طیور ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین شده است (۲۷). اغلب مطالعات صورت گرفته در مورد استفاده از مس در جیره طیور با کاهش محتوای کلسترول زرده در ارتباط است. در عین حال Dobrzanski و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی بکارگیری انواع معدنی و آلی عناصر مس، آهن و منگنز بر محتوای این عناصر در مرغان تخمگذار گزارش کردند که محتوای مس در تخم‌مرغ‌های دریافت کننده مس آلی (مخمری) به‌طور معنی‌داری بیشتر از سولفات مس بود (۲۸). همچنین گزارش شد که بکارگیری سولفات مس در جیره نیز توانست محتوای این عنصر را در زرده، سفیده و پوسته افزایش دهد (۲۹).

ویتامین‌ها

کاهش برخی نگرانی‌های ناشی از ارتباط بین مصرف گوشت و تخم‌مرغ با بروز برخی بیماری‌ها و تلاش برای افزایش مصرف آنها، نیازمند بهبود در فعالیت‌های آموزشی و بازاریابی، انتخاب ژنتیکی برای کیفیت مطلوب لاشه/ تخم‌مرغ و توسعه برنامه‌های تغذیه دام و طیور جهت افزایش ویژگی‌های تغذیه‌ای محصولات حیوانی است. با توجه به برنامه‌های تغذیه‌ای، یکی از راه‌های بهبود چنین شرایطی ممکن است از طریق افزایش محتوای ویتامین میسر باشد. در طول دو دهه گذشته، تمرکز تحقیقات ویتامین‌ها از جلوگیری از کمبود به‌سمت شناسایی نقش-هایی که این مواد مغذی کلیدی در فرآیندهای متابولیک و در نتیجه حفظ سلامت و عملکرد بهینه انسان ایفا می-کنند، تغییر کرده است.

تخم‌مرغ‌های به اصطلاح طراح اکنون حدود ۳ تا ۵ درصد از کل تخم‌مرغ‌های فروخته شده را تشکیل می-دهند. کارایی بالقوه انتقال ویتامین‌ها از خوراک به تخم-مرغ مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که راندمان

این اننتقال در محدوده‌ای از ۵ تا ۸۰ درصد متغیر است. اگرچه برخی از فعل و انفعالات بین جذب برخی ویتامین-ها وجود دارد، به نظر نمی‌رسد مشکل بالقوه‌ای در عملکرد مرغان تخمگذار با تغذیه بسیار بالاتر از سطوح طبیعی ویتامین‌ها وجود داشته باشد (۳۰).

ویتامین‌های محلول در چربی

ویتامین D برای تشکیل طبیعی استخوان بسیار مهم است. کمبود، زمانی که طولانی و شدید باشد، می‌تواند منجر به استئومالاسی در بزرگسالان یا راشیتیسم در کودکان شود. کمبود شدید این ویتامین می‌تواند منجر به پوکی استخوان پس از یائسگی شود و همچنین ممکن است خطر شروع و پیشرفت سرطان پروستات را افزایش دهد. از طرفی این ویتامین همچنین نقش ثابتی در حفظ پاسخ ایمنی دارد، بنابراین نیاز غذایی به ویتامین D را در مواجهه با همه‌گیری کووید -۱۹ تقویت می‌کند (۳۱). این ویتامین می‌تواند از رژیم غذایی یا در اثر نور خورشید در پوست تأمین یا تولید شود. مصرف آن در اکثر کشورها کم است زیرا مواد غذایی کمی وجود دارند که غنی از این ویتامین باشند. کمبود ویتامین D در کشورهایی که در محدودیت قرارگیری در معرض اشعه ماوراءبنفش هستند، شایع‌تر است و نیاز به شناسایی استراتژی‌های رژیم غذایی برای بهبود این موضوع وجود دارد (۳۲).

تخم‌مرغ در کنار ماهی و گوشت از معدود منابع طبیعی قوی این ویتامین برای انسان محسوب می‌شوند. تحقیقات نشان داده است که میزان ویتامین D_3 (کوله کلسیفرول) تخم‌مرغ را می‌توان با مکمل‌سازی آن در جیره مرغ افزایش داد. به نظر می‌رسد که ویتامین D_3 برای غنی‌سازی تخم‌مرغ مناسب‌تر از ویتامین D_2 است، زیرا مکمل‌های غذایی ویتامین D_3 میزان ویتامین D زرده تخم‌مرغ را مؤثرتر از ویتامین D_2 افزایش می‌دهد (۳۳). با توجه به نتایج آزمایشات صورت گرفته، مصرف چنین تخم‌مرغی (حدود ۶۰ گرم) در روز حدود ۱/۹ تا ۲/۸ میکروگرم ویتامین D_3 را به بدن می‌رساند که ۲ تا ۳ برابر بیشتر از تخم‌مرغ‌های معمولی و معادل ۳۸ تا ۵۶ درصد از ۵ میکروگرم توصیه شده است (۳۴). افزایش محتوای ۲۵-هیدروکسی کوله‌کلسیفرول در زرده همراه با کاهش ترک-خوردگی و آلودگی پوسته با دریافت مکمل این ویتامین در جیره مرغان تخمگذار گزارش شد (۳۵). در سال ۲۰۱۵ پروژه‌ای با عنوان تخم‌مرغ‌های آفتابی (Sunshine Eggs) در بریتانیا راه‌اندازی شد. در این پروژه نشان داده شد که تغذیه گله‌های مرغ‌های تجاری تا ۷۵ میکروگرم از مکمل ویتامین D خوراک به مدت ۶ هفته باعث بهبود محتوای کل این ویتامین تخم‌مرغ تا ۴۰ درصد شد. این نتایج به ارائه فرمول جدیدی جهت تولید و عرضه تخم-مرغ‌های غنی‌شده با ویتامین D با نام تجاری "تخم‌مرغ شاد" در اکتبر سال ۲۰۱۸ کمک کرد (۳۶).

ویتامین K عملکردهای فیزیولوژیکی مهمی چون انعقاد خون (نقش کلاسیک آن)، مهار کلسیفیکاسیون شریانی و اثرات ضد التهابی دارد. نقش این ویتامین به عملکرد مولکولی آن به عنوان کوفاکتور آنزیم γ-گلوتامات کربوکسیلاز مربوط می‌شود که تبدیل گلوتامات به گلوتامات γ-کربوکسیله (Gla) را در حداقل ۱۷ پروتئین مختلف کاتالیز می‌کند و فعالیت کامل آنها را تسهیل می-کند. بررسی‌ها نشان داد که کمبود این ویتامین در جوامع مختلف وجود دارد و چنین کمبود طولانی مدت تحت بالینی ویتامین K یک عامل خطر برای پوکی استخوان، تصلب شرایین و سرطان در نظر گرفته می شود (۳۷).

واضح است، در حالی‌که استراتژی‌هایی برای بهبود مصرف ویتامین K مورد نیاز است، موانع مهمی وجود دارد که نیاز به ارائه راه‌حل‌های خلاقانه مبتنی بر غذا اشاره می‌کند. غنی‌سازی زیستی مواد غذایی با ویتامین K می‌تواند یک رویکرد مهم جهت پرداختن به مصرف کم این ویتامین در کل جمعیت باشد. گزارش شده که تخم-مرغ وسیله‌ای ایده‌آل برای تقویت زیستی با ویتامین‌های D و A است. به‌همین ترتیب Suzuki و Okamoto (۱۹۹۷) نشان دادند که در یک آزمایش تغذیه‌ای نسبتاً کوتاه مدت (۳۱ روز)، افزایش سطح ویتامین K_1 یا منادیون (K_3) در جیره مرغ باعث افزایش محتوای ویتامین K_1 و/ یا مناکینون ۴ (MK-4) در تخم‌مرغ شد (۳۸). O'Sullivan و همکاران (۲۰۲۰) طی یک آزمایش تغذیه‌ای ۱۲ هفته‌ای نشان دادند افزودن سه سطح مکمل ویتامین K_3 (۱۲/۹، ۲۳/۷ و ۴۵/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم به فرم منادیون نیکوتین آمید بی‌سولفیت) به

جیره مرغان تخمگذار به‌همان اندازه در افـزایش محتـوای ویتامین K کل تخم‌مرغ کامل (تقریباً دو برابر) نسـبت بـه تخم‌مرغ‌های تغذیـه شـده بـا جیـره شـاهد حـاوی سـطح تجاری (۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) مؤثر بود (۳۹).

گرچه تقریباً در هر ویتامینی، محتوای ویتامین تخـم-مرغ با افزایش سطح ویتامین در جیره غذایی افزایش می-یابد، شاخص تناسب محاسبه شده نشان می‌دهد که سطح ویتـامین تخـم‌مـرغ معمـولاً بـا افـزایش محتـوای جیـره هماهنگ نیست. در مورد ویتامین E، تغذیه ده برابـر ایـن مقدار منجر به افزایش پنج برابری ویتامین E در تخم‌مـرغ شد که شاخص تناسب آن ۵۰ است. سطوح ویتـامین A و D تخم‌مرغ به‌طور قابل‌توجهی در پاسخ به افـزایش سـطح آنها در جیره افزایش مـی‌یابـد، امـا ایـن نسـبت مسـتقیم نیست. راندمان انتقال یک ویتـامین از یـک‌سـو بـه سـطح جیره و از سوی دیگر به تولید تخم‌مرغ با در نظـر گـرفتن وزن و میزان تولید تخم‌مرغ بستگی دارد. رانـدمان انتقـال ویتامین A زمانی که این ویتامین یک یـا دو برابـر سـطح مورد نیاز توصیه شده استاندارد تغذیه شد بسیار بـالا بـود، اما به‌طور قابـل‌تـوجهی در چهـار برابـر سـطح مـورد نیـاز کاهش یافت. راندمان انتقال ویتامین D بـه‌طـور متوسـط حدود ۲۰ درصـد بـود، امـا در سـطح بـیش از ۱۰۰ برابـر جیره، تنها کاهش اندکی در بازده انتقال این ویتامین دیده شد. کارایی انتقال ویتامین E در سـه مطالعـه مختلـف تـا حدودی متغیر بود اما در محدوده مشابه ویتـامین D بـود. راندمان انتقال ویتامین K_1 بـر اسـاس داده‌هـای محـدود پایین بود (۴۰).

محتوای ویتامین A و E جیـره بـر میـزان رتینـول و توکوفرول زرده تخم‌مرغ تأثیر می‌گذارد. گـزارش شـد کـه میزان ویتامین A زرده تخم‌مرغ‌هایی که با ۱۶۰۰۰ واحـد بین‌المللی در کیلوگرم تغذیه شدند، ۲۴ واحد بـین‌المللـی در گرم، یعنی بیش از دو برابر مقدار در تخـم‌مـرغ مرغـان تغذیه‌شده با سطوح استاندارد توصـیه‌شـده بـود. از طرفـی نتایج مطالعـات نشـان داد کـه مصـرف زیـاد ویتـامین A ممکن است با سایر ویتامین‌های محلول در چربی، به‌ویـژه ویتامین E تداخل داشـته باشـد. در آزمایشـی نشـان داده شد که مکمل‌سازی جیـره مرغـان تخمگـذار بـا دو سـطح ویتـامین A (۱۰۰۰۰ و ۵۰۰۰۰ واحـد بـین‌المللـی در کیلوگرم) همراه با سطوح صفر، ۵۰، ۱۰۰ یـا ۱۵۰ میلـی-گـرم ویتـامین E بـر کیلـوگرم موجـب کـاهش غلظـت توکوفرول پلاسما در پرندگان تغذیه شده با سطح ویتامین A بالاتر شد. همچنین نشان داده شـد کـه مکمـل‌سـازی جیره با بتاکاروتن موجب کاهش رسوب آلفا توکـوفرول در زرده تخم‌مرغ مرغان تخمگذار شد (۴۱).

ویتامین‌های محلول در آب

مکمل جیره غذایی مرغ تخمگذار می‌توانـد منجـر بـه افـزایش سـطح ویتـامین‌هـای خـاص در تخـم‌مـرغ شـود. ویتامین‌های محلول در چربی به راحتی از طریق گنجاندن در فرمولاسیون جیره به زرده تخم‌مرغ وارد می شـوند کـه در قسمت قبل به آنها اشاره شد. در یـک مطالعـه ۳ ماهـه برای بررسـی پتانسـیل غنـی‌سـازی تخـم‌مـرغ بـا بیشـتر ویتامین‌ها به‌منظور تولیـد تخـم‌مرغـی جهـت تـأمین ۵۰ درصد از مصرف روزانه توصیه شده برای همه ویتـامین‌هـا نشـان داده شـد کـه تنـوع قابـل تـوجهی در غنـی‌سـازی ویتامین تخم‌مـرغ وجـود داشـت. فقـط در مـورد بیـوتین، ویتامین B_{12} و ویتامین K هدف مذکور با یک تخـم‌مـرغ محقـق شـد. در حـالی‌کـه محتـوای نیاسـین، تیـامین و پیریدوکسین تخم‌مرغ به دسـتکاری جیـره حسـاس نبـود (۳۰). با توجه به داده‌های کنونی، بعید به نظر می‌رسد که تخم‌مرغ‌ها را بتوان به‌طور همزمان با تمام ویتامین‌ها غنـی کرد.

محتوای ریبوفلاوین تخم‌مرغ به‌طـور قابـل تـوجهی بـا افزایش مقدارش در جیره افزایش می‌یابـد امـا در سـطوح بالای جیره به‌شدت کـاهش مـی‌یابـد. بـه نظـر مـی‌رسـد محتوای اسید پانتوتنیک تخم‌مرغ بـه نسـبت مسـتقیم بـا سـطح آن در جیـره افـزایش یابـد. در حـالی‌کـه محتـوای فولاسین تخم‌مرغ با افـزایش فولاسـین در جیـره افـزایش می‌یابد، روابط مربوط به تناسب چنـدان سـازگار نیسـت و ممکن است تحت تـأثیر تغییـرات در سـنجش ویتـامین و سنتز روده‌ای فولاسین باشد. سطح بیوتین در زرده تخـم-مرغ در پاسخ به افزایش محتوای جیره، سطح فزاینده‌ای را نشان می‌دهد، اما شاخص تناسب کاهش می‌یابد. در مـورد ویتامین B_{12}، افـزایش زیـادی در محتـوای تخـم‌مـرغ بـا افزایش سطوح جیره‌ای مشـاهده مـی‌شـود. ضـمن اینکـه

تناسب با افزایش ۲۵ برابری محتوای جیره نیز حفظ می‌شود. انتقال تیامین به تخم‌مرغ نیز کارایی پایینی را نشان می‌دهد. انتقال ریبوفلاوین در سطح یک و دو برابر نیاز استاندارد مرغ تخمگذار نسبتاً خوب است، اما مانند ویتامین A در سطوح بالاتر جیره به شدت کاهش می‌یابد (۴۰).

با توجه به اهمیت اسید فولیک، تخم‌مرغ‌های غنی‌شده با فولات از طریق مکمل‌های اسید فولیک در جیره طیور تولید شده‌اند که حاوی تا ۲/۵ برابر فولات بیشتری نسبت به تخم‌مرغ معمولی بودند. اما پتانسیل آن‌ها برای تأثیرگذاری بر وضعیت فولات مصرف‌کنندگان ناشناخته است زیرا اشکال طبیعی فولات موجود در تخم‌مرغ‌ها ممکن است لزوماً در طول نگهداری و پخت حفظ نشوند. اما Altic و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که فولات‌های طبیعی موجود در تخم‌مرغ‌های غنی‌شده با فولات بسیار پایدار باقی می‌مانند و پس از ذخیره‌سازی و پختن با هدر رفت ناچیز یا بدون هدر رفت باقی می‌مانند (۴۲). این یافته‌ها مهم هستند زیرا امکان‌پذیری معرفی تخم‌مرغ‌های غنی‌شده با فولات در رژیم غذایی مصرف‌کنندگان به‌عنوان غذاهای کاربردی با محتوای فولات غنی‌شده را نشان می‌دهند.

رنگدانه‌ها

محتوای پروتئین، لیپید، ویتامین‌ها و ترکیبات معدنی تخم‌مرغ، پتانسیل آن را به‌عنوان یک غذای کاربردی افزایش می‌دهد. نتیجه بسیاری از تلاش‌ها برای غنی‌سازی تخم‌مرغ، موفقیت قابل‌توجه در ارائه ترکیبات زیست‌فعال مانند اسیدهای چرب امگا ۳، کاروتنوئیدها، ویتامین‌ها و مواد معدنی بوده است. قرن‌ها، رنگ زرده تخم‌مرغ و گوشت مهمترین معیار برای انتخاب فرآورده‌های طیور بوده است و از کاروتنوئیدها برای بهبود این پارامتر استفاده شده است. از آنجایی که طیور قادر به تولید کاروتنوئید نیستند، برای تأمین آنها از منابع مختلف گیاهی در جیره استفاده می‌شود. گزارش شده است که کاروتنوئیدها دارای خواص آنتی‌اکسیدانی نیز هستند و لذا غنی‌سازی تخم‌مرغ با کاروتنوئید برای پرندگان و انسان مفید هستند. در دهه گذشته، از جمله ترکیبات مورد استفاده برای غنی‌سازی تخم‌مرغ، کاروتنوئیدها هستند. همانطور که گفته شد؛ تخم‌مرغ غنی‌شده یک محصول غذایی حاوی مواد مغذی با خواص مفید برای سلامتی است. در عین حال باید توجه داشت که نژاد مرغ، غنی‌سازی جیره، روش‌های پخت و پز و هضم گوارشی، قابلیت زیست‌فراهمی ترکیبات زیست‌فعال در تخم‌مرغ‌ها را تعدیل می‌کند. به‌طورکلی روش‌های فرآوری حرارتی به‌دلیل اکسیداسیون و تخریب می‌تواند باعث کاهش خواص آنتی‌اکسیدانی در تخم‌مرغ شود، در حالی‌که فعالیت هضمی در دستگاه گوارش به‌دلیل تشکیل آنتی‌اکسیدان‌های جدید (اسیدهای آمینه و پپتیدهای آزاد) خواص آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهد (۴۳، ۴۴).

دریافت آنتی‌اکسیدان‌ها از طریق جیره غذایی در کاهش آسیب اکسیداتیو در سلول‌ها و بهبود سلامت انسان مهم است. اگرچه تخم‌مرغ به‌دلیل کیفیت استثنایی و تغذیه‌ای خود شناخته شده است، اما به‌طورکلی به‌عنوان غذاهای آنتی‌اکسیدانی در نظر گرفته نمی‌شود. تخم‌مرغ دارای ترکیبات طبیعی مختلفی از جمله پروتئین‌های اووالبومین، اووترانسفرین و لیزوزیم موجود در سفیده تخم‌مرغ، و همچنین فسویتین، کاروتنوئیدها و اسیدهای آمینه معطر آزاد در زرده تخم‌مرغ است. برخی از آنتی‌اکسیدان‌های چربی‌دوست مانند ویتامین E، کاروتنوئیدها، سلنیوم، ید و غیره را می‌توان برای تولید تخم‌مرغ غنی‌شده با آنتی‌اکسیدان از جیره به زرده تخم‌مرغ منتقل کرد. شناخته شده‌ترین گروه‌های آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی ویتامین C، ویتامین E، کاروتنوئیدها و فلاونوئیدها و اخیراً پپتیدهایی با خواص آنتی‌اکسیدانی مشتق شده از منابع مختلف گیاهی و حیوانی هستند. بیشتر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مشتق شده از گیاه، فیتوکمیکال‌ها از جمله فنول‌ها، فلاونوئیدها و کاروتنوئیدها هستند. کاروتنوئیدها دسته‌ای از ترکیبات محلول در چربی با خواص آنتی‌اکسیدانی هستند. کاروتنوئیدها همچنین می‌توانند از پراکسیداسیون لیپیدی جلوگیری کرده و نقش محافظتی در بروز سرطان ایفا کنند. اگرچه مکمل بتا-کاروتنوئیدها در غلظت‌های بالا می‌تواند به‌عنوان یک پرواکسیدان عمل کند لیکن در غلظت متوسط مفید است (۴۳).

آستاگزانتین

در مقایسه با بتا-کاروتنوئید و کانتاگزانتین، آستاگزانتین در مرغان تخمگذار با کارآمدی بیشتری رسوب می‌کند. آستاگزانتین یک کاروتنوئید گزانتوفیلی است که به دو شکل مصنوعی و طبیعی یافت می‌شود. آستاگزانتین سنتتیک با وجود داشتن فرمول شیمیایی مشابه با نوع طبیعی، دارای عملکرد فیزیولوژیکی، به‌عنوان مثال، توانایی حذف رادیکال‌های آزاد، بسیار کمتری است. سازمان غذا و داروی ایالات متحده، آستاگزانتین را به‌عنوان رنگدانه خوراکی در خوراک حیوانات و ماهی تأیید کرده است. در میان کاروتنوئیدها، آستاگزانتین قوی‌ترین خواص آنتی‌اکسیدانی را از خود نشان می‌دهد. نتایج استفاده از سطوح مختلف صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم درکیلوگرم آستاگزانتین به مدت ۶ هفته نشان داد در مقایسه با گروه شاهد، مکمل غذایی آستاگزانتین به‌طور قابل توجهی غنی‌سازی آستاگزانتین را در زرده تخم‌مرغ در پایان هفته‌های ۲، ۴ و ۶ افزایش داد. ضمن اینکه ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، سطح سوپراکسید دیسموتاز و سطح گلوتاتیون پراکسیداز در پلاسما، کبد و زرده تخم‌مرغ در گروه‌های آستاگزانتین نسبت به گروه شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است (۴۵).

بر خلاف سایر کاروتنوئیدها، مانند بتاکاروتن و لیکوپن، که اثر پرواکسیداسیونی را در مکمل‌سازی با دوز بالا نشان می‌دهند، اثر پرواکسیداسیون آستاگزانتین در افراد در معرض آن دیده نشد. مطالعه Spiller و Dewell (۲۰۰۳) بر روی انسان نشان داد که مصرف ۶ میلی‌گرم در روز آستاگزانتین مشتق شده از ریز جلبک هماتوکوکوس پلویالیس برای انسان بالغ بی‌خطر است. به‌همین ترتیب، سازمان ایمنی غذای اروپا نیز بیان کرد که آستاگزانتین از هماتوکوکوس پلویالیس می‌تواند بدون خطر به غذاها تا ۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن بدن اضافه شود (۴۶).

در طیور، مطالعات مربوط به آستاگزانتین عمدتاً حول محورهای کیفیت تخم‌مرغ یا گوشت و بهبود سلامت انجام شده است. در مطالعه Gao و همکاران (۲۰۱۳) مشخص شد که مکمل گزانتوفیل (۴۰ درصد لوتئین و ۶۰ درصد زئاگزانتین) با دوزهای ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در جیره‌های غذایی مرغان تخمگذار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آنها را افزایش داده و پراکسیداسیون لیپیدی را کاهش می‌دهد (۴۷). به‌همین ترتیب، مطالعات دیگر با استفاده از دوزهای بسیار کمتر مکمل آستاگزانتین در جیره غذایی مرغان تخمگذار عمدتاً به‌منظور افزایش رنگ زرده تخم‌مرغ انجام شده است. علیرغم استفاده روزافزون از آستاگزانتین در صنعت طیور، دوز توصیه شده برای مکمل‌های غذایی مرغ‌های تخمگذار هنوز مشخص نشده است. علاوه بر این، مطالعات انجام‌شده بر روی مرغان تخمگذار تأثیر مکمل‌سازی با دوز بالای آستاگزانتین در جیره را در نظر نگرفت.

در مطالعه‌ای، تأثیر مکمل‌های غذایی آستاگزانتین (پودر ریز جلبک هماتوکوکوس پلویالیس) با دوز متوسط و بالا بر عملکرد تولید، کیفیت تخم‌ها و وضعیت سلامتی مرغ‌های تخم‌گذار مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملکرد تولیدی مرغ‌های تخم‌گذار و کیفیت فیزیکی تخم‌ها بین گروه‌های تیمار شده و شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. در حالی‌که رنگ زرده تخم‌مرغ و غلظت آستاگزانتین با دوز مکمل افزایش یافت. با این حال، کاهش غلظت و اثربخشی رنگ‌آمیزی آستاگزانتین در مکمل‌سازی با دوز بالا (۲۱۳/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) در مقایسه با دوزهای متوسط (۲۱/۳ و ۴۲/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) مشاهده شد. همچنین آستاگزانتین فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز را بهبود بخشید. لذا نتیجه‌گیری شد که اگرچه آستاگزانتین هیچ اثر نامطلوب آشکاری بر عملکرد و وضعیت سلامتی مرغ‌های تخم‌گذار نداشت، اما ممکن است برای تقویت تخم‌مرغ و بهبود وضعیت سلامتی مرغ‌های تخم‌گذار با دوز بالا مفید نباشد. بهتر است از مصرف مکمل آستاگزانتین با دوز بالا تا ۲۱۳/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره غذایی اجتناب شود (۴۸).

لوتئین و سایر رنگدانه‌ها

لوتئین رژیم غذایی به‌دلیل اثرات پیشگیرانه‌ای که در بیماری‌های مختلف چشم انسان دارد، مورد توجه قرار گرفته است. تخم‌مرغ به‌دلیل تجمع خوب و غلظت نسبتاً بالای لوتئین منبع خوبی در نظر گرفته می‌شود. بنابراین،

مطالعات زیادی برای تولید تخم‌مرغ‌های غنی‌شده با لوتئین با جیره غذایی مختلف انجام شده است. مطالعات قبلی گزارش کردند که مکمل‌های لوتئین خالص، در سطوح گنجانده شده تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، غلظت آن را تا ۱۰ برابر در تخم‌مرغ افزایش می‌دهند. با این حال، نتایج تحقیقات نشان داد کارایی مواد خوراکی مختلف برای حفظ لوتئین در تخم‌مرغ بسیار متغیر بود و به سطوح مورد استفاده در جیره و دوره‌های تغذیه‌ای بستگی داشت. در نهایت، عوامل غیرتغذیه‌ای مانند سیستم مدیریت، استرس محیطی، بیماری، سن و نژاد ممکن است بر غلظت لوتئین در تخم‌ها تأثیر بگذارد (۴۹). گزارش گردید که افزودن پودر گل همیشه بهار در سطوح ۲-۱ گرم در کیلوگرم جیره مرغ‌های تخم‌گذار باعث افزایش معنی‌دار میزان لوتئین و رنگ زرده تخم‌مرغ و تغییر مشخصات اسیدهای چرب در زرده شد. تخم‌مرغ با محتوای لوتئین افزایش یافته و اسیدهای چرب مطلوب منبع خوبی از این مواد در تغذیه انسان محسوب می‌شوند (۵۰).

برای دستیابی به رنگ مطلوب زرده تخم‌مرغ، از مکمل‌های کاروتنوئیدی در جیره مرغ‌ها استفاده می‌شود. علاوه بر لوتئین و زئاگزانتین که در جیره رایج هستند، کاروتنوئیدهایی وجود دارند که رایج نبوده اما مکمل‌سازی آنها باعث افزایش رنگ با هزینه کمتر می‌شود. کانتاگزانتین یکی از این کاروتنوئیدها است که به‌طور گسترده در جیره طیور استفاده می‌شود. تقریباً ۳۷ تا ۵۰ درصد کانتاگزانتین مصرف شده در زرده رسوب می‌کند. در مقایسه، تنها ۱ درصد از بتاکاروتن، بین ۴/۴ تا ۲۳ درصد از لوتئین و ۲۳ درصد از زئاگزانتین جیره غذایی در زرده تخم‌مرغ رسوب می‌کند (۵۱). از سویی، با توجه به پتانسیل بالای تحریک پوست و چشم، کانتاگزانتین برای سلامت انسان خطرناک محسوب می‌شود، لذا نگرانی فزاینده‌ای در مورد استفاده از افزودنی‌های مصنوعی در تغذیه و رفاه حیوانات در مصرف‌کنندگان وجود دارد و تقاضا برای تخم‌مرغ‌های ارگانیک در حال افزایش است. بنابراین، در کشاورزی ارگانیک، تغذیه طیور با مواد غذایی با منشاء طبیعی صورت می‌گیرد و رنگدانه‌های زرده مصنوعی مانند اتیل استر بتا-آپو-۸-کاروتنوئیدیک اسید یا کانتاگزانتین مصنوعی مجاز نیستند. با توجه به موارد مذکور، رنگدانه‌های طبیعی به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته و استفاده از برخی از آنها مانند عصاره گل همیشه بهار در صنعت طیور به رسمیت شناخته شده است. علاوه بر گل همیشه بهار غنی از لوتئین، گل‌های دیگری که کاروتنوئیدهای مختلفی را در گلبرگ‌ها جمع می‌کنند نیز می‌توانند به‌عنوان منابع رنگدانه استفاده شوند. گل همیشه بهار، حاوی کاروتنوئیدهای اصلی فلاوگزانتین، لوتئین، روبیگزانتین، بتا و گاما کاروتن و لیکوپن، و در مجموع حاوی ۲۷۶۰ – ۱۱۱۰ میکروگرم کاروتنوئید کل در گرم گل تازه است، در حالی‌که گل قاصدک منبعی از کاروتنوئید اپوکسید لوتئین به نام تاراگزانتین هستند. علاوه بر این، بخش‌های برگ سبز گیاهان نیز می‌توانند کاروتنوئیدها را برای رنگدانه زرده تخم مرغ فراهم کنند. ریحان حاوی ۸۲/۷ – ۳۶/۵ میکروگرم لوتئین، ۷۳/۳ – ۳۳/۷ میکروگرم بتاکاروتن و ۶/۲ – ۲/۳ میکروگرم زئاگزانتین در گرم برگ تازه بسته به نوع آن است (۵۲). این قسمت‌های گیاهی همچنین دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالایی نیز هستند که نشان می‌دهد مکمل‌های غذایی مرغ می‌تواند از اسیدهای چرب موجود در زرده تخم مرغ محافظت کند و بنابراین نه تنها بر محتوای رنگ و کاروتنوئید بلکه بر ثبات اکسیداتیو و خواص حسی تأثیر می‌گذارد. بنابراین، آنها می‌توانند جایگزین مناسبی برای بهبود کیفیت تخم‌مرغ و ارائه ترکیبات زیست‌فعال مفید در رژیم غذایی انسان باشند. در بررسی تأثیر استفاده از گیاه ریحان خشک و گل‌های همیشه بهار و قاصدک در جیره نشان داده شد که تفاوتی معنی‌داری در محتوای کاروتنوئید کل زرده با افزودن ۳٪ از مکمل گیاهی و رنگدانه تجاری مشاهده نشد (۵۳).

پراکسیداسیون لیپید زرده بر کیفیت غذایی و حسی تخم‌مرغ و ایمنی مصرف‌کنندگان تأثیر می‌گذارد. بنابراین، غنی‌سازی همزمان تخم‌مرغ با ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند کاروتنوئیدها باعث کاهش اکسیداسیون اسیدهای چرب و ارائه منبع خوبی از آنتی‌اکسیدان‌های غذایی می‌شود. علاوه بر خواص آنتی‌اکسیدانی، کاروتنوئیدها رنگدانه‌های قرمز و زرد هستند که بر رنگ زرده تخم‌مرغ نیز تأثیر می‌گذارند. تخم‌مرغ منبع طبیعی مهمی از

کاروتنوئیدها به‌ویژه گزانتوفیل‌های لوتئین و زئاگزانتین در رژیم غذایی انسان است. بنابراین، افزودن منابع کاروتنوئیدی به جیره مرغ دو عمل بالقوه دارد؛ ضمن اینکه به‌عنوان رنگدانه طبیعی برای بهبود رنگ و کیفیت زرده تخم‌مرغ عمل می‌کند، به‌عنوان آنتی‌اکسیدان برای به تأخیر انداختن اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه نیز کارایی دارند. نشان داده شد که استفاده از کنجاله بزرک و منابع کاروتنوئیدی در جیره باعث بهبود رنگ، تجمع کاروتنوئیدها در زرده و پروفایل اسیدهای چرب، به‌ویژه محتوای اسیدهای چرب چند غیر اشباعی امگا ۳ می‌شوند. مکمل‌های کاروتنوئیدی جیره باعث کاهش نسبت اسیدهای چرب امگا ۶ به امگا ۳، محتوای کلسترول زرده و پایداری اکسیداتیو زرده شد (۵۴).

در اتحادیه اروپا، هشت کاروتنوئید شامل کپسانتین، بتا-کریپتوکسانتین، لوتئین، زئاگزانتین، بتا- آپو-۸- کاروتنال، اتیل استر بتا- آپو- ۸- کاروتنوئیک اسید، کانتاگزانتین و سیترانگزانتین به‌عنوان افزودنی در خوراک طیور تأیید شده است. گزانتوفیل‌های طبیعی از عصاره‌های گیاهی مانند گل همیشه بهار، عصاره یونجه و غلات غنی از کاروتنوئید مانند ذرت و فلفل قرمز نیز برای تقویت کاروتنوئیدها در تخم‌مرغ استفاده می‌شوند. علاوه بر این، همانطور که گونه‌های مختلف ذرت دارای سطوح متفاوتی از لوتئین و زیگزانتین هستند، برخی از نژادهای مرغ بیشتر از سایرین لوتئین و زئاگزانتین را در تخم‌های خود ذخیره می‌کنند.

انتقال کاروتنوئیدها به زرده تخم‌مرغ با استفاده از پوست گوجه فرنگی به‌عنوان منبع لیکوپن، که یک رنگدانه کاروتنوئیدی قرمز است، مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که از خوراک به زرده منتقل شد. به‌دلیل راندمان پایین انتقال لیکوپن به زرده تخم‌مرغ در مقایسه با گزانتوفیل، به‌نظر می‌رسد لیکوپن در انتقال به زرده بیشتر از گزانتوفیل به کاروتن شباهت دارد. به‌نظر می‌رسد که کاروتنوئیدها و سایر مواد مغذی موجود در جیره مرغ به وضوح به زرده تخم مرغ منتقل می‌شوند، اما کارایی انتقال آنها توسط ساختار و تعامل آنها با سایر مواد موجود در جیره تعیین می‌شود (۵۵).

نتیجه‌گیری

در سطح جهانی، صنعت طیور با تولید پروتئین حیوانی با کیفیت بالا و مقرون به‌صرفه، شانس بالایی برای سرمایه‌گذاری، فرصت‌های شغلی و منبع درآمدی برای خرده مالکان در سراسر جهان فراهم می‌کند. ضمن اینکه ویژگی‌های تغذیه‌ای تخم‌مرغ به‌عنوان یک منبع ارزان قیمت و دردسترس، نتایج امیدوارکننده‌ای در رابطه با تأمین مواد مغذی و سلامت انسان دارد. علاوه بر این، غنی‌سازی تخم‌مرغ آن را به‌عنوان یک غذای فراسودمند مشخص می‌کند. مبتنی بر رویکردهای تغذیه‌ای و دستکاری جیره می‌توان ترکیبات خاصی از جمله مواد معدنی کمیاب، ویتامین‌ها به‌ویژه انواع محلول در چربی و رنگدانه‌ها را با هدف ارتقای کمی ترکیبات خاص و در نهایت بهبود کیفی و اثرات سلامت‌بخش به تخم‌مرغ منتقل کرد. با این حال، عواملی مانند منبع، نوع و سطح افزودن ماده مورد نظر، اثرات متقابل با سایر اجزای جیره، نژاد مرغ و غیره بر کارایی انتقال و متعاقباً سلامت مصرف‌کنندگان مؤثر است. بدین ترتیب همسو با تحولات و پیشرفت‌های روزافزون در تولید غذاهای فراسودمند، می‌توان امیدوار بود که با برخی رهیافت‌های تغذیه‌ای و مدیریتی، امکان تولید تخم‌مرغ‌های سفارشی به‌راحتی فراهم است.

References

1- Muduli S, Champati A, Popalghat HK. Designer egg: A new approach in modern health care. The Pharma Innovation Journal. 2018;7(5):320-326.

2- Sahoo A, Jena B. Designer egg and meat through nutrient manipulation. Journal of Poultry Science and Technology. 2014;2(3):38-47.

3- Bennett DC, Cheng KM. Selenium enrichent of table eggs. Poultry Science. 2010;89:2166-2172. Doi: 10.3382/ps. 2009-00571.

4- Pushpamali RMD, Himali SMC, Gunawardene M, Samarasinghe K, Chandrajith R. Multimineral fortification of chicken egg by supplementing a combination of sodium selenite, ferrous sulphate and zinc sulphate in layer diet. Biomedical Journal of Scientific & Technical Research. 2021;35(2):28558-27567.
Doi: 10.26717/ BJSTR.2021.35.005683.

5- Lu J, Qu L, Shen MM, Wang XG, Guo J, Hu YP, Dou TC, Wang, KH. Effects of high-dose selenium-enriched yeast on laying performance, egg quality, clinical blood parameters, organ development, and selenium deposition in laying hens. Poultry Science. 2019;98:2522-2530.
Doi.org/ 10.3382/ps/pey597.

6- Institute of Medicine. 2000. Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium and Carotenoids. National Academy Press, Washington, DC.

7- Schrauzer GN, Surai PF. Selenium in human and animal nutrition: Resolved and unresolved issues. A partly historical treatise in commemoration of the fiftieth anniversary of the discovery of the boilogical essentiality of selenium, dedicated to the memory of Klaus Schwarz (1914-1978) on the occasion of the thirtieth anniversary of his death. Critical Reviews in Biotechnology. 2009;29:2-9.

8- Markovic R, Ciric J, Starcevic M, Sefer D, Baltic MZ. Effects of selenium source and level in diet on glutathione peroxidase activity, tissue selenium distribution, and growth performance in poultry. Animal Health Research Reviews. 2018;19:166-176.

9- Qiu K, Ma Y, Obianwuna UE, Wang J, Zhang H, Qi G, Wu S. Application of selenium conjugated to animal protein in laying Hens diet for the production of selenium-enriched eggs. Foods. 2021;10: 1224. Doi.org/10.3390/foods10061224.

10- Urso URA, Dahlke F, Maiorka A, Bueno IJM, Schneider AF, Surek D, Rocha C. Vitamin E and selenium in broiler breeder diets: Effect on live performance, hatching process, and chick quality. Poultry Scinence. 2015;94:976.

11- Surai PF, Kochish II. Nutritional modulation of the antioxidant capacities in poultry: The case of selenium. Poultry Scinence. 2019;98:4231-4239.

12- Liu H, Yu Q, Fang Ch, Chen S, Tang X, Ajuwon KM, Fang R. Effect of selenium source and level on performance, egg quality, egg selenium content, and serum biochemical parameters in laying hens. Foods. 2020;9:68.
Doi:10.3390/foods 9010068.

13- Sarlak S, Tabeidian SA, Toghyani M, Davar A, Shahraki F, Goli M, Habibian M. Supplementation of two sources and three levels of iodine in the diet of laying hens: effects on performance, egg quality, serum and egg yolk lipids, antioxidant status, and iodine accumulation in eggs, Italian Journal of Animal Science. 2020;19(1):974-988.
Doi: 10.1080/1828051X.2020. 1810142.

14- Bourre JM, Galea F. An important source of omega-3 fatty acids, vitamins D and E, carotenoids, iodine and selenium: A new natural multi-enriched egg. Journal of Nutrition, Health & Aging. 2006;10:371-376.

15- Opalinski S, Dolinska B, Korczynski M, Chojnacka K, Dobrzanski Z, Ryszka F. Effect of iodine-enriched yeast supplementation of diet on performance of laying hens, egg traits, and egg iodine content. Poultry Science. 2012;91:1627-1632.
Doi. org/10.3382/ps.2011-02031.

16- Slupczynska M, Jamroz D, Orda J, Wiliczkiewicz A. Effect of various sources and levels of iodine, as well as the kind of

diet, on the performance of young laying hens, iodine accumulation in eggs, egg characteristics, and morphotic and biochemical indices in blood. Poultry Science. 2014;93:2536-254.
Doi.org/10.3382/ps.2014-03959.

17- Bess F, Vieira SL, Favero A, Cruz RA, Nascimento PC. Dietary iron effects on broiler breeder performance and egg iron contents. Animal Feed Science and Technology. 2012; 178:67-73.

18- Sun Q, GuoY, Li J, Zhang T, Wen J. Effects of methionine hydroxy analog chelated Cu/Mn/Zn on laying performance, egg quality, enzyme activity and mineral retention of laying hens. Journal of Poultry Science. 2012;49: 20-25.

19- Xie C, Elwan HAM, Elnesr SS, Dong XY, Zou XT. Effect of iron glycine chelate supplementation on egg quality and egg iron enrichment in laying hens. Poultry Science. 2019;98:7101-7109.
Doi.org/10.3382/ps/pez421.

20- Saki AA, Shamsollah T, Ashoori1 A. Egg iron enrichment in response to various levels of pomegranate by-product in laying hen diet. Iranian Journal of Applied Animal Science. 2019;9(4):747-754. [In Persian].

21- Ibs KH, Rink L. Zinc alters immmmune function. The Journal of Nutrition. 2003;1452-1456.

22- Rahman MM, Wahed MA, Fchs GJ, Bayui AH, Alvarez JI. Synergetic effect of zinc and vitamin A on the biochemical indexes of vitamin A nutrition in children. The American Journal of Clinical Nutrition. 2002;1:92–98.

23- Bahakaim ASA, Abdel Magied HA, Osman SMH, Omar AS, Abdel Malak NY, Ramadan NA. Effect of using different levels of zinc in layer diets on egg zinc enrichment. Egyptian Poultry Science Journal. 2014;34(1): 39-56.

24- James L, Stahl MA, Cook J, Greger L. Zinc, iron and copper contents of eggs from hens fed varying levels of zinc. Journal of Food Composition and Analysis. 1988;1(4): 309-315.

25- Vakili R, Saebifar J, Majidzadeh Heravi R. Investigation of egg enrichment using organic and inorganic supplements of selenium and zinc in aged laying hens. Veterinary Researches & Biological Products. 2021;134:183-193.

26- Moghanaprya GP, Veeramani P, Pasupathi K. Concentration of chromium in egg yolk and meat of Japanese quails in response to dietary chromium supplementation. Indian Journal of Animal Health. 2018;57(1):93-98.

27- Kaya H, Kaya A, Macit M, Celebi S, Kaynar O. Effects of dietary copper supplementation on performance, egg quality parameters, yolk cholesterol and fatty acid profiles in laying hens. Indian Journal of Animal Research. 2017;B-830:1-5.
Doi: 10.18805/ijar.B-830.

28- Dobrzanski Z, Korczynski M, Chojnacka K, Gorecki H, Opalinski S. Influence of organic forms of copper, manganese and iron on bioaccumulation of these metals and zinc in laying hens. Journal of Elementology. 2008; 13(3):309-319.

29- Pesti GM, Bakalli RI. Studies on the effect of feeding cupric sulfate pentahydrate to laying hens on egg cholesterol content. Poultry Science. 1998;77:1540-1545.

30- Leeson S, Caston LG. Vitamin enrichment of eggs. Journal of Applied Poultry Research. 2003;12:24-26.

31- Lanham-New SA, Webb AR, Cashman KD, Buttriss JL, Fallowfield JL, Masud T, et al. Vitamin D and SARS-CoV-2 virus/ COVID-19 disease. BMJ Nutrition, Prevention & Health. 2020;3:106-110.

32- Buttriss JL, Lanham-New SA. Is a vitamin D fortification strategy needed? Nutrition Bulletin. 2020;45:115-122.

33- Mattila P, Valaja J, Rossow L, Venalainen E, Tupasela T. Effect of vitamin D2- and D3-

42- Altic L, McNulty H, Hoey L, McAnena L, Pentieva K. Validation of folate-enriched eggs as a functional food for improving folate intake in consumers. Nutrients. 2016;8:777. Doi:10.3390/nu8120777.

43- Nimalaratne Ch, Wu J. Hen egg as an antioxidant food commodity: a review. Nutrients. 2015;7:8274-8293. Doi:10.3390/nu7105394.

44- Nolasco E, Naldrett M, Alvarez S, Johnson PE, Majumder K. Bioactivity of cooked standard and enriched whole eggs from white leghorn and Rhode Island Red in exhibiting in-vitro antioxidant and ACE-inhibitory effects. Nutrients. 2021;13:4232.

45- Gao Sh, Li R, HengN, Cheny Y, Wang L, Li Zh, Guo Y, Sheng X, Wang X, Xing K, Ni H, Qi X. Effects of dietary supplementation of natural astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* on antioxidant capacity, lipid metabolism, and accumulation in the egg yolk of laying hens. Poultry Science. 2020;99:5874-5882. Doi.org/ 10.1016/j.psj.2020.08.029.

46- Spiller GA, Dewell A. Safety of an astaxanthin-rich *Haematococcus pluvialis* algal extract: a randomized clinical trial. Journal of Medicinal Food. 2003;6:51-56.

47- Gao YY, Xie QM, Ma JY, Zhang XB, Zhu JM, Shu DM, Sun BL, Jin L, Bi YZ. Supplementation of xanthophylls increased antioxidant capacity and decreased lipid peroxidation in hens and chicks. British Journal of Nutrition. 2013;109:977-983.

48- Dansou DM, Wang H, Nugroho RD, He W, Zhao Q, Zhang J. Assessment of response to moderate and high dose supplementation of astaxanthin in laying hens. Animals. 2021;11: 1138. Doi.org/10.3390/ani11041138.

49- Pitargue FM, Kang HK, Kil DY. Lutein-enriched egg production for laying hens. World Poultry Science. 2019;75:633-645.

50- Grcevic M, Kralik Z, Kralikb G, Galovic O. Effects of dietary marigold extract on lutein content, yolk color and fatty acid profile of enriched diets on egg vitamin D content, production, and bird condition during an entire production period. Poultry Science. 2004;83: 433-440.

34- Mattila P, Lehikoinen K, Kiiskinen T, Piironen V. Cholecalciferol and 25- hydroxylcholecalciferol content of chicken egg yolk as affected by the cholecalciferol content of feed. Journal of Agriculture Food Chemistry. 1999; 47:4089-4092.

35- Zang H, Zhang K, Ding X, Bai S, Hernandez JM, Yao B. Effects of different dietary vitamin combinations on the egg quality and vitamin deposition in the whole egg of laying hens. Brazilian Journal of Poultry Science. 2011;13(3):189-196.

36- Clark A, Kuznesof S, Davies S, Waller A, Ritchie A, Wilson S, et al. Egg enrichment with vitamin D: The Sunshine Eggs projects. Nutrition Bulletin. 2021;46:332-338. Doi.org/10.1111/nbu.12509.

37- Beulens JW, Booth SL, Van Den Heuvel EG, Stoecklin E, Baka A, Vermeer C. The role of menaquinones (vitamin K_2) in human health. British Journal of Nutrition. 2013;110: 1357-1368.

38- Suzuki Y, Okamoto M. Production of hen's eggs rich in vitamin K. Nutrition Research. 1997;17:1607-1615.

39- O'Sullivan SM, Ball MEE, McDonald E, Hull GLJ, Danaher M, Cashman KD. Biofortification of chicken eggs with vitamin K- nutritional and quality improvements. Foods. 2020;9:1619. Doi:10.3390/foods9111619.

40- Naber EC. Modifying vitamin composition of eggs: a review. Journal of Applied Poultry Research. 1993;2:385-393.

41- Mori AV, Mendonc Jr CX, Almeida CRM, Pita MCG. Supplementing hen diets with vitamins A and E affects egg yolk retinol and α-tocopherol levels. Journal of Applied Poultry Research. 2003;12:106-114.

omega-3 eggs. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2018;99(5):2292-2299. Doi.10.1002/jsfa.9425

51- Grashorn M. Feed additives for influencing chicken meat and egg yolk color. In Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages; Carle, R., Schweiggert, R., Eds., Woodhead Publishing: Cambridge, UK, 2016;283-302.

52- Kopsell DA, Kopsell DE, Curran-Celentano J. Carotenoid and chlorophyll pigments in sweet basil grown in the field and greenhouse. Horticultural Science. 2005;40:1119D.

53- Kljak K, Carovic-Stanko K, Kos I, Janjecic Z, Kis G, Duvnjak M, Safner T, Bedekovic D. Plant carotenoids as pigment sources in laying hen diets: effect on yolk color, carotenoid content, oxidative stability and sensory properties of eggs. Foods. 2021;10: 721. Doi.org/10.3390/foods10040721.

54- Panaite TD, Nour V, Saracila M, Turcu RP, Untea AE, Vlaicu PA. Effects of linseed meal and carotenoids from different sources on egg characteristics, yolk fatty acid and carotenoid profile and lipid peroxidation. Foods. 2021;10:1246.
Doi.org/10.3390/foods10061246.

55- Zaheer K. Hen egg carotenoids (lutein and zeaxanthin) and nutritional impacts on human health: a review. Cyta- Journal of Food. 2017; 15(3):474-487.

Vol.1/No.4/Spring 2022/Pages 12-28 https://www.qafj.iauk.ac.ir

Functional Eggs; Enriched with Minerals, Vitamins and Pigments

Dariush Khademi Shurmasti*
Assistant Professor, Department of Agriculture, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran
* Corresponding Author: dkhademi@gmail.com
Received: 18/4/2022, Accepted: 7/6/2022

Abstract
Egg is considered as natural life supporting essential compounds source which provides nutritious food with biological packaging. Nowadays, due to the increasing level of awareness, the sensory and nutritional quality of eggs is becoming a growing concern for consumers. So, there is a growing demand for eggs with characteristics and effectiveness beyond a common food, including eggs enriched in nutrients such as trace minerals (selenium, iron, zinc, iodin, copper, etc.), vitamins (water and fat soluble), antioxidant compounds (such as carotenoids). The acheivement to this purpose is simply possible and economic through dietary approaches producind the designer eggs, resulting eggs can offer functions above and beyond that they usally provide. Designer eggs provide new and attractive options for consumers who want eggs with different nutritional properties than regular eggs. In this review, an attempt has been made to provide various nutritional approaches in the breeding and management of laying hens for the production of eggs designed, including various forms of mineral and organic supplements containing trace elements, vitamins and pigments, daily requirements and amounts provided by enriched eggs were evaluated for their specific biological role, as well as the toxicity effects of the interaction of some supplements at different levels used. Although it has been found that it is easy to hope for the production of enriched eggs through nutritional approaches, but proving the health claims of these designer eggs in human models requires attention to combine and adapt them in different populations and perform specialized experiments.

Keywords: Desiner Egg, Trace Element, Functional Food, Enrichment, Carotenoids