نشریه علوم دامی

شماره ۱۵۰، بهـار ۱۴۰۵

ص‌ص: ۲۹~۴۴

تاثیرمنبع کلسیم و اسید آلی بر عملکرد، کیفیت تخم‌مرغ و قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی کلسیم در مرغ‌های تخم‌گذار تجاری

– عمار عبدالحسن علی[۱]، مهران ترکی [۲]، سودابه مرادی(نویسنده مسئول)[۳]، رضا عبداللهی[۴]، علی خطیب جو [۵]

۱،۲،۳–گروه علوم دامی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۴– مرکز تحقیقات تک معده ایها، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه مسی، نیوزیلند.

۵– گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

تاریخ دریافت : بهمن ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش : اردیبهشت ۱۴۰۴

شماره تماس نویسنده مسئول: ۰۸۳۳۸۳۲۳۷۲۸

Email: s.moradi@razi.ac.ir

شناسه دیجیتال (DOI):10.22092/ASJ.2025.367150.2420

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تاثیر منبع کلسیم و اسید آلی بر عملکرد، کیفیت تخم‌مرغ و تعیین ضرایب قابلیت هضم کلسیم در کربنات کلسیم، صدف دریایی و ترکیب کربنات کلسیم و صدف دریایی در مرغ‌های تخمگذار تجاری مورد بررسی قرار گرفت. تعداد ۲۸۸ قطعه مرغ تخم‌گذار سویه لوهمن (LSL-lite) از سن ۵۰ تا ٦۲ هفتگی به ٦ تیمار، ۸ تکرار و ٦ مرغ در هر تکرار در قالب آزمایش فاکتوریل ۲×۳ بر پایه طرح کاملاً تصادفی شامل سه منبع کلسیم (کربنات کلسیم، صدف دریایی و ترکیب ۵۰:۵۰ کربنات کلسیم و صدف دریایی) با و بدون اسید آلی (تگاسید، ۲ گرم در کیلوگرم) اختصاص داده شدند. ضرایب قابلیت هضم ایلئومی ظاهری و حقیقی کلسیم و ابقاء کلسیم در کل دستگاه گوارش با استفاده از جیره‌های نیمه خالص بر پایه ذرت محاسبه گردید. میزان اتلاف داخلی کلسیم، ۷۲٦ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک مصرفی برآورد گردید. ضرایب قابلیت هضم حقیقی ایلئومی کلسیم در کربنات کلسیم، پودر صدف و ترکیب کربنات کلسیم و صدف، به ترتیب ٦۹/۹، ٦۵/٤ و ٦۲/۲ درصد تعیین شد که با افزودن اسید آلی، به ترتیب ۷٤/٤، ۷٤ و ۷۵/۳ درصد بدست آمد و افزودن اسید آلی منجر به بهبود قابلیت هضم ایلئومی کلسیم در تیمارهای حاوی صدف دریایی و ترکیب صدف+کربنات کلسیم شد (P<۰/۰۱). اثرات متقابل منبع کلسیم و اسید آلی بر صفات عملکردی در پایان دوره آزمایش، معنی دار بود. بیشترین درصد تولید تخم مرغ در گروه تغذیه شده با صدف دریایی+اسید آلی مشاهده شد و با سایر تیمارهای آزمایشی که اختلاف معنی داری داشت (P <۰/۰۱). در مقایسه با کربنات کلسیم، تغذیه جیره‌های دارای صدف یا کربنات + صدف منجر به کاهش وزن و توده تخم‌مرغ تولیدی شد و افزودن اسیدیفایر کاهش وزن را جبران نمود (P <۰/۰۱)، اما تفاوت معنی‌داری با گروه دریافت کننده کربنات با و بدون افزودن اسید آلی نداشت. به کاربردن صدف در جیره منجر به بهبود عددی ضخامت پوسته تخم مرغ در مقایسه با کربنات کلسیم و ترکیب آنها گردید (P=۰/۰٦). به طور کلی، تفاوت قابل توجهی در ضرایب قابلیت هضم کلسیم ظاهری در سه منبع کربنات کلسیم، صدف دریایی و ترکیب ۵۰:۵۰ صدف دریایی+کربنات کلسیم در مرغ های تخمگذار مشاهده نشد، اما افزودن اسیدیفایر منجر به بهبود قابلیت هضم کلسیم و کیفیت پوسته مرغ‌های تغذیه شده با پودر صدف به تنهایی یا در ترکیب با کربنات کلسیم شد.

واژه‌های کلیدی: اسیدآلی، صدف دریایی، کربنات کلسیم، قابلیت هضم کلسیم، مرغ تخمگذار.

Copyright: © 2025 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by **Research Journal of Livestock Science** (https://asj.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited

Research Journal of Livestock Science No 150 pp: 29-44

Effect of calcium source and organic acid on performance, egg quality and apparent and true ileal digestibility of calcium in commercial laying hens

By: Ammar Abdulhasan Ali[1], Mehran Torki2, Soudabeh Moradi*[3], Reza Abdollahi[4], Ali Khatibjoo[5]

1,2,3. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran

4. Monogastric Research Center, School of Agriculture and Environment, Massey University, Palmerston North, 4442, New Zealand

5. Department of Animal Science, College of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

Corresponding Author, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: s.moradi@razi.ac.ir

Received: February 2025 **Accepted: June 2025**

This experiment was conducted to evaluate the effects of calcium (Ca) source and organic acid on performance, egg quality, digestibility coefficient of Ca in limestone, oyster shell and their combination in commercial laying hens. A total of 288 Lohmann (LSL-Lite) laying hens were assigned to 6 treatments, 8 replicates, and 6 hens per each from 50 to 62 wk of age in a completely randomized trial according to a 3×2 factorial arrangement with 3 sources of Ca: limestone (Lim), oyster shell (OS) and their 50:50 combination (LiOS) with or without organic acid (Tegacid®, 2 g/kg). Apparent and true ileal digestibility of Ca (AIDca and TIDca) and total tract Ca retention (TTDca) were measured using corn-based semi-purified diets. Ileal endogenous Ca losses were determined to be 726 mg/kg of dry matter intake. The TIDCa for Lim, OS and LiOS were 69.9, 65.4, and 62.2%, respectively while by organic acid addition was obtained as 74.4, 74, and 75.3%, respectively. Inclusion of organic acid significantly improved ileal digestibility of Ca in diets containing OS or LiOS ($P < 0.01$). The interaction between Ca source and organic acid were significant ($P > 0.05$) for the performance parameters at the end of the experiment. The greatest percent of egg production was observed in the birds fed oyster shell + organic acid, which had a significant difference with other experimental treatments ($P < 0.01$). Comparing to Lim, feeding diets containing OS or LiOS decreased egg mass and egg weight ($P < 0.01$), while addition of organic acid compensated the weight loss, however, there was no significant difference with the birds receiving Lim with or without organic acid. Inclusion of organic acid numerically improved egg shell thickness compared to Lim and LiOS treatments ($P=0.06$). Overall, there was no considerable difference in Ca apparent digestibility coefficients in three sources of Lim, OS and 50:50 combination of OS + Lim in laying hens, but the addition of organic acid improved calcium digestibility and shell quality of the hens fed oyster shell alone or in combination with limestone.

Key words: Organic Acid, Oyster shell, Calcium carbonate, Ca Digestibility, Laying hen.

مقدمه

امروزه، جهت تامین نیاز بالای کلسیم در مرغ‌های تخمگذار در دوره تولید از منابع معدنی نظیر کربنات کلسیم و صدف دریایی استفاده می‌شود. کلسیم برای مرغ‌های تخمگذار ضروری می‌باشد اما دانش ما در مورد نحوه استفاده و ضرایب قابلیت هضم و جذب آن محدود می‌باشد. منبع و اندازه ذرات کربنات کلسیم و پودر صدف بر حلالیت و زیست فراهمی کلسیم با ایجاد تغییر در سرعت آزادسازی کلسیم در دستگاه گوارش موثر می‌باشد (Anwar و همکاران، ۲۰۱۸). قابلیت هضم ظاهری کلسیم در جیره‌های عملی طیور

تخمگذار در برخی از آزمایشات بسته به عوامل متقابل مختلف بین ۰/۳۷ تا ۰/۷۲ متغیر بوده است (Bello و Korver، ۲۰۱۹؛ Englmaierová و همکاران، ۲۰۱۷). محققین نشان دادند که در مرغ‌های تخمگذار ۵۰ هفته، برای کربنات کلسیم دارای ذرات ریز و درشت (۴۸۰ و ۱۹۷۸ میکرومتر)، قابلیت هضم ظاهری ایلئومی به ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۳۵ و قابلیت ابقاء کلسیم به ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۴۷ بود (Diana و همکاران، ۲۰۲۲). همین محققین در سال ۲۰۲۱ با مطالعه روی دی‌کلسیم فسفات و ۲ نوع کربنات کلسیم دارای ذرات ریز و درشت در جیره مرغ‌های تخمگذار ۴۰، ۵۰ و ۷۰ هفته نشان دادند که در مرغ‌های تخمگذار ۴۰ هفته، قابلیت هضم ظاهری کلسیم برای دی‌کلسیم فسفات و کربنات کلسیم دارای ذرات ریز و درشت به ترتیب ۰/۸۸۹، ۰/۶۹۹ و ۰/۵۱۵ بود در حالیکه برای مرغ‌های تخمگذار ۷۰ هفته به ترتیب ۰/۷۱۲، ۰/۶۵۲ و ۰/۴۸۲ بود ولی در سن ۵۰ هفته تفاوتی بین منابع مختلف از لحاظ قابلیت هضم ظاهری کلسیم وجود نداشت. ضریب قابلیت هضم حقیقی نیز برای دی‌کلسیم فسفات و کربنات کلسیم دارای ذرات ریز و درشت به ترتیب ۰/۷۸۶، ۰/۶۳۷ و ۰/۵۳۴ بود که نشان داد فارغ از سن مرغ، دی‌کلسیم فسفات بهتر از کربنات کلسیم ریز و درشت در مرغ‌های تخمگذار مورد استفاده قرار می‌گیرد (Diana و همکاران، ۲۰۲۱).

جیره‌های طیور معمولاً به دلیل مقدار بالای پروتئین و مواد معدنی دارای خاصیت قلیایی بالایی هستند. وجود پروتئین گیاهی و خوراک‌های حاوی کربنات کلسیم اثر بافری قوی ایجاد می‌کنند، بنابراین با اسیدی شدن روده باریک، تغییر مثبتی در فلور باکتریایی روده ایجاد شده و از تکثیر باکتری‌های مضر و تهدیدکننده سلامت حیوان جلوگیری خواهد شد. اسیدهای آلی بر قابلیت هضم مواد معدنی به ویژه کلسیم و افزایش جذب کاتیون‌هایی مانند کلسیم، فسفر، منیزیم و روی موثر هستند (Vargas-Rodríguez و همکاران، ۲۰۱۶). افزودن اسیدیفایرها سبب بهبود هضم و کاهش دفع مواد معدنی و نیتروژن می‌شود که دفع مواد معدنی به محیط زیست را کاهش می‌دهد، همچنین اسیدهای آلی سبب کاهش pH روده، رطوبت مدفوع و ویسکوزیته مواد هضمی در دوازدهه می‌شوند (Ndelekwute و همکاران، ۲۰۱۹). از آنجا که کلسیم و فسفر جیره در شرایط اسیدی دستگاه گوارش و pH پائین‌تر، قابلیت هضم و جذب و دسترسی بالاتری دارند، در آزمایش حاضر فرض شدکه افزودن اسیدهای آلی یک راهکار تاثیرگذار در بهبود قابلیت هضم کلسیم در منابع مختلف می‌باشد و در مطالعه حاضر اثرات برهمکنش منبع کلسیم و اسید آلی تگاسید بر عملکرد، کیفیت تخم‌مرغ و تعیین ضرایب قابلیت هضم کلسیم در منابع مختلف کلسیم (کربنات کلسیم، صدف دریایی یا ترکیبی از این دو) را در مرغ‌های تخمگذار تجاری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به منظور بررسی تاثیر منابع مختلف کلسیم و افزودن اسید آلی بر عملکرد، کیفیت تخم‌مرغ و ضرایب قابلیت هضم کلسیم در منابع مختلف در مرغ‌های تخمگذار تجاری از سن ۵۰ تا ۶۲ هفتگی به مدت ۱۲ هفته انجام شد. تعداد ۲۸۸ قطعه مرغ تخم‌گذار سویه لوهمن (LSL-lite) در قالب آزمایش فاکتوریل ۲×۳ (سه منبع کلسیم معدنی شامل کربنات کلسیم، صدف دریایی و ترکیب ۵۰:۵۰ کربنات کلسیم و صدف دریایی) و (۲ سطح اسید آلی تگاسید (صفر و ۲ گرم در کیلوگرم خوراک) بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۶ تیمار، ۸ تکرار و ۶ مرغ در هر تکرار مورد استفاده قرار گرفت. جیره‌های آزمایشی بر پایه ذرت- کنجاله سویا بر اساس جدول نیازمندی‌های مرغ‌های تخمگذار لوهمن (۲۰۲۱) و بر اساس میزان مصرف خوراک روزانه تنظیم شد. اسید آلی مورد استفاده، تگاسید ای‌وی (TEGACID AV) محصولی از شرکت تگاسا (TEGASA) فرانسه که در هر کیلوگرم دارای پروپیونات آمونیوم (۹۲/۵ گرم)، اورتوفسفریک اسید (۱۰۰ گرم)، مشتقات اسیدهای چرب فرار و بوتیرات کلسیم (E470) (۳۱۶ گرم) و مواد حامل کائولین‌دار (۲۵۰ گرم) می‌باشد. دسترسی به آب و خوراک به صورت آزاد و دفعات تغذیه مرغ‌ها دو بار در روز بود. برنامه نوری مرغ‌ها در طول آزمایش به صورت ۱۶ ساعت روشنائی و ۸ ساعت تاریکی بود. مواد خوراکی تشکیل دهنده و ترکیبات شیمیایی جیره‌های آزمایشی در جدول ۱ آورده شده است. میزان کلسیم موجود در کربنات کلسیم و صدف دریایی، قبل از شروع آزمایش به ترتیب ۳۸/۶ و ۳۸/۶۸ درصد بدست آمد که در تنظیم جیره‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

جمع‌آوری تخم‌مرغ‌ها و محاسبه درصد تولید به صورت روزانه انجام شد. عملکرد مرغ‌های تخمگذار شامل افزایش وزن بدن، درصد تولید (Hen-day)، ضریب تبدیل خوراک، وزن تخم‌مرغ و توده تخم‌مرغ

اندازه گیری شد. کیفیت تخم‌مرغ در پایان دوره آزمایش (۶۲ هفتگی) ارزیابی شد بدین صورت که کل تخم‌مرغ‌های تولیدی هر واحد آزمایشی در دو روز متوالی جمع آوری گردید و صفات درصد زرده، سفیده و پوسته، ضخامت پوسته، مقاومت پوسته در مقابل شکست (بر اساس نیوتن بر متر مربع)، واحد هاو و رنگ زرده اندازه‌گیری شد.

برای تعیین میانگین هندسی قطر ذرات منابع مورد استفاده، مقدار ۱۰۰ گرم از هر نمونه توزین و با استفاده از شیکر الک¬دار با اندازه¬های مختلف الک با قطر منافذ ۴۷۵۰، ۳۳۵۰، ۲۳۶۰، ۲۰۰۰، ۱۱۸۰، ۶۰۰، ۴۲۵، ۳۰۰، ۱۵۰ و ۷۵ میکرومتر به مدت ۱۵ دقیقه الک شد. سپس مقدار باقی‌مانده روی هر الک وزن شد و به صورت نسبتی از کل نمونه اولیه بیان شد. در نهایت میانگین هندسی قطر ذرات و انحراف استاندارد میانگین هندسی قطر ذرات محاسبه شد.

حلالیت منابع معدنی شامل کربنات کلسیم و صدف دریایی در آزمایشگاه بر اساس روش Zhang و Coon (۱۹۹۷) انجام شد، بدین ترتیب که ۲۰۰ سی سی اسیدکلریدریک ۰/۲ نرمال به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴۲ درجه با بن ماری، گرم شد و ۲ گرم از هر نمونه کربنات، اضافه گردید بعد از ۱۰ دقیقه، با کاغذ صافی واتمن فیلتراسیون انجام گردید، سپس کاغذ صافی فیلتر شده به مدت ۱۰ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از توزین، درصد حلالیت محاسبه گردید.

به منظور تعیین قابلیت هضم ظاهری ایلئومی کلسیم و ابقاء کلسیم در کل دستگاه گوارش از جیره‌های نیمه خالص تهیه شده بر پایه ذرت و حاوی دی اکسید تیتانیوم استفاده شد (David و همکاران، ۲۰۱۹) که ترکیب اجزاء تشکیل دهنده و آنالیز تقریبی جیره‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. همچنین به منظور اندازه‌گیری میزان کلسیم اندوژنوس ایلئومی به منظور محاسبه قابلیت هضم حقیقی ایلئومی کلسیم از جیره بدون کلسیم (David و همکاران، ۲۰۱۹)، استفاده شد (جدول ۲). ابقاء کلسیم در کل دستگاه گوارش (Total Tract retention) با نمونه برداری از محتویات فضولات (هفته ۶ و ۱۲ آزمایش) و قابلیت هضم ایلئومی کلسیم در پایان دوره آزمایش اندازه گیری شد.

برای اندازه‌گیری قابلیت هضم ایلئومی و ابقاء کلسیم در کل دستگاه گوارش، جیره‌های نیمه خالص حاوی دی اکسید تیتانیوم، پس از اعمال ۶ ساعت گرسنگی و تخلیه دستگاه گوارش، به مدت ۳ روز تغذیه شدند، نمونه برداری از فضولات در مدت ۳ روز انجام، نمونه‌ها با هم مخلوط و نمونه‌گیری نهایی برای هر واحد آزمایشی انجام شد. در پایان ۳ روز، تعداد ۲ مرغ از ۵ تکرار هر تیمار به علاوه ۱۰ مرغ که جیره بدون کلسیم را دریافت کرده بودند ذبح و محتویات ایلئوم جمع‌آوری شد. از محتویات ایلئوم (فاصله بین زائده مکل تا ۵ سانتیمتر قبل از دریچه ایلئوسکال) نمونه‌برداری شد (Ravindran و همکاران، ۲۰۰۵). نمونه‌های ایلئوم مرغ‌های هر تکرار با هم مخلوط و در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۷۲ ساعت خشک، آسیاب و تا انجام آزمایشات شیمیائی، در محفظه‌های بدون هوا نگه‌داری شد. میزان کلسیم در نمونه‌های خوراک، محتویات ایلئوم و فضولات با استفاده از روش تیتراسیون یا حجم سنجی و غلظت دی اکسید تیتانیوم با استفاده از اسپکتروفتومتر UV اندازه‌گیری شد (Short و همکاران، ۱۹۹۶).

قابلیت هضم ظاهری کلسیم منابع کلسیمی از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

$$AIDCa = 1 - ((TiD/Til) \times (Cal/CaD))$$ رابطه ۱)

که AIDCa، قابلیت هضم ایلئومی ظاهری کلسیم؛ TiD، مقدار تیتانیوم جیره؛ Til، مقدار تیتانیوم محتویات ایلئوم؛ CaD، مقدار کلسیم جیره و Cal، مقدار کلسیم محتویات ایلئوم می‌باشد.

مقدار کلسیم اندوژنوس دفعی از ایلئوم مرغ‌های دریافت کننده جیره بدون کلسیم از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

$$IECaL = Cal(TiD/Til)$$ رابطه ۲)

که $IECaL$، کلسیم اندوژنوس دفعی ایلئومی؛ CaIl، مقدار کلسیم محتویات ایلئوم؛ TiD، مقدار تیتانیوم جیره و Til، مقدار تیتانیوم محتویات ایلئوم می‌باشد.

قابلیت هضم حقیقی کلسیم منابع کلسیمی از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

$$TIDCa = AIDCa + ((IECaL(g/kg\ of\ DMI)/CaD(g/kg\ of\ DMI))$$ رابطه۳)

که TIDCa، قابلیت هضم ایلئومی حقیقی کلسیم؛ AIDCa، قابلیت هضم ایلئومی ظاهری کلسیم؛ IECaL، کلسیم اندوژنوس دفعی ایلئومی به ازاء کیلوگرم خوراک مصرفی و CaD، مقدار کلسیم جیره می‌باشد.

داده‌های حاصل از آزمایش به صورت آرایش فاکتوریل ۳×۲ با سه منبع کلسیم و ۲ سطح اسیدیفایر در قالب طرح کاملاً تصادفی و بر اساس مدل آماری زیر توسط نرم افزارSAS (نسخه ۹/۴) سال ۲۰۰۴ و رویه GLM تجزیه و تحلیل و آنالیز شدند و میانگین تیمارها در سطح معنی‌داری پنج درصد و با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با هم مقایسه شدند (SAS، ۲۰۰۴).

جدول ۱: ترکیب مواد خوراکی و ترکیبات شیمیایی محاسبه شده و آنالیز شده جیره های آزمایشی [۲] از سن ۵۰ تا ۶۲ هفتگی

ماده خوراکی (٪)	تیمار ۱	تیمار ۲	تیمار ۳	تیمار ۴	تیمار۵	تیمار ۶
ذرت	۵۷/۰۴	۵۷/۰۴	۵۷/۰۴	۵۷/۴۶	۵۷/۴۶	۵۷/۴۶
کنجاله سویا	۲۵/۶۹	۲۵/۶۹	۲۵/۶۹	۲۵/۶۱	۲۵/۶۱	۲۵/۶۱
سبوس گندم	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰
روغن گیاهی	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۱/۸۶	۱/۸۶	۱/۸۶
دی‌کلسیم فسفات	۱/۷۳	۱/۷۳	۱/۷۳	۱/۷۳	۱/۷۳	۱/۷۳
کربنات کلسیم	۰/۰۰	۹/۰۲	۴/۵۱	۰/۰۰	۹/۰۲	۴/۵۱
صدف	۹/۰۲	۰/۰۰	۴/۵۱	۹/۰۲	۰/۰۰	۴/۵۱
نمک	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳
پرمیکس ویتامینه و معدنی [۱]	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰
دی‌ال متیونین	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴
بی کربنات سدیم	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵
جاذب سموم قارچی	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰
اسید آلی (تگاسید)	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
جمع کل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
ترکیب مواد مغذی محاسبه شده						
انرژی قابل متابولیسم (Kcal/kg)	۲۷۰۰	۲۷۰۰	۲۷۰۰	۲۷۰۰	۲۷۰۰	۲۷۰۰
پروتئین خام، ٪	۱۶/۲	۱۶/۲	۱۶/۲	۱۶/۲	۱۶/۲	۱۶/۲
لیزین، ٪	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۲
متیونین + سیستئین، ٪	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵
ترئونین، ٪	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶
کلسیم، ٪	۴	۴	۴	۴	۴	۴
فسفر غیر فیتاته، ٪	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳
مواد مغذی آنالیز شده						
کلسیم، ٪	۴/۱۸	۴/۸۹	۴/۱۸	۴/۲۵	۴/۱۴	۴/۲۵

[۱] مکمل مورد استفاده در ترکیب جیره‌ها در هرکیلوگرم، دارای مواد زیر بوده است: ویتامین‌ها شامل ۴۴۰۰۰ واحد جهانی آ، ۷۲۰۰ واحد جهانی د-۳، ۴۴۰ میلی گرم ای، ۴۰ میلی گرم کا، ۷۰ میلی گرم کوبالامین، ۶۵ میلی گرم تیامین، ۳۲۰ میلیگرم ریبوفلاوین، ۲۹۰ میلی گرم اسید پانتوتنیک، ۱۲۲۰ میلی گرم نیاسین، ۶۵ میلی گرم پیریدوکسین، ۲۲ میلی گرم بیوتین و ۲۷۰ میلی گرم کولین کلراید. مواد معدنی شامل (میلی گرم در کیلوگرم): ۹۹/۲ میلی گرم اکسید منگنز (۲MnO)، ۸۵ میلی گرم اکسید روی (ZnO)، ۵۰ میلی گرم سولفات آهن (۴FeSo)، ۱۰ میلی گرم سولفات مس (۴SuSo)، ۲/۰ میلی گرم سلنیوم (سدیم سلنیت)، ۱۳ میلی گرم ید (یدات کلسیم) و ۴۵۰ میلی گرم کولین کلراید.

[۲] تیمار ۱، ۲ و ۳ به ترتیب جیره های آزمایشی حاوی صدف دریایی، کربنات کلسیم و ترکیب ۵۰:۵۰ کربنات کلسیم و صدف دریایی همراه با افزودن اسید آلی تگاسید می باشد. تیمار ۴، ۵ و ۶ به ترتیب جیره های آزمایشی حاوی صدف دریایی، کربنات کلسیم و ترکیب ۵۰:۵۰ کربنات کلسیم و صدف دریایی می باشد.

جدول ۲: ترکیب مواد غذایی و ترکیب شیمیایی محاسبه شده جیره های نیمه خالص بر پایه ذرت*

ماده خوراکی (درصد)	تیمار ۱	تیمار ۲	تیمار ۳	تیمار ۴	تیمار ۵	تیمار ۶	بدون کلسیم (Ca-free)
روغن گیاهی	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰
ذرت	۸۵/۴۴	۸۵/۴۴	۸۵/۴۴	۸۵/۲۴	۸۵/۲۴	۸۵/۲۴	۹۷/۱
مونو سدیم فسفات	۱/۳۱	۱/۳۱	۱/۳۱	۱/۳۱	۱/۳۱	۱/۳۱	۰/۰۰
کربنات کلسیم	۰/۰۰	۱۰/۲۴	۵/۱۲	۰/۰۰	۱۰/۲۴	۵/۱۲	۰/۰۰
صدف دریایی	۱۰/۲۴	۰/۰۰	۵/۱۲	۱۰/۲۴	۰/۰۰	۵/۱۲	۰/۰۰
نمک	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲
پرمیکس ویتامینه و معدنی	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴
دی اکسید تیتانیوم	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰
بی کربنات سدیم	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۰
اسید آلی (تگاسید)	–	–	–	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۰۰
جمع کل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
مواد مغذی محاسبه شده							
انرژی قابل متابولیسم (Kcal/kg)	۲۹۹۱	۲۹۹۱	۲۹۹۱	۲۹۸۴	۲۹۸۴	۲۹۸۴	۳۳۷۶
پروتئین خام، ٪	۶/۸۳	۶/۸۳	۶/۸۳	۶/۸۱	۶/۸۱	۶/۸۱	۷/۷۶
کلسیم، ٪	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۰/۰۵
فسفر کل، ٪	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۲۷
فسفر غیر فیتاته، ٪	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۰۹
مواد مغذی آنالیز شده							
کلسیم، ٪	۴/۶۵	۴/۵۹	۴/۸۲	۴/۸۹	۴/۳۸	۴/۹۲	–

*تیمار ۱، ۲ و ۳ به ترتیب جیره نیمه خالص حاوی صدف دریایی، کربنات کلسیم و ترکیب ۵۰:۵۰ کربنات کلسیم و صدف دریایی می باشد. تیمار ۴، ۵ و ۶ به ترتیب جیره های نیمه خالص حاوی صدف دریایی، کربنات کلسیم و ترکیب ۵۰:۵۰ کربنات کلسیم و صدف دریایی همراه با افزودن اسید آلی تگاسید می باشد.

جدول ۳: توزیع اندازه ذرات (درصد)، میانگین هندسی قطر ذرات، انحراف استاندارد میانگین هندسی و حلالیت (in vitro) کربنات کلسیم و پودر صدف

اندازه ذرات (میلی متر)	کربنات کلسیم	پودر صدف
بزرگتر از۲/۳۶	۰	۷/۲
۲/۳۶-۲	۰	۷/۲
۲-۱/۱۸	۱۱/۷۲	۲۰/۹
۱/۱۸-۰/۶	۷۹/۶	۲۳
۰/۶ -۰/۴۲۵	۱/۸	۱۳/۷
۰/۴۲۵ -۰/۳	۱/۸	۷/۸
۰/۳-۰/۱۵۰	۳/۹	۱۱/۶
۰/۱۵۰-۰/۰۷۵	۰/۵	۶
کمتر از ۰/۰۷۵	۰/۵	۲/۱
میانگین هندسی قطر ذرات (GMD، µm)	۷۰۵	۶۸۳
انحراف استاندارد میانگین هندسی (GSD)، µm	۱/۵	۲/۶
حلالیت ٪	۷۷	۶۸/۷

نتایج

میانگین هندسی قطر ذرات کربنات کلسیم و صدف به ترتیب ۷۰۵ و ۶۸۳ میکرومتر محاسبه شد و درصد حلالیت کلسیم در کربنات کلسیم و صدف دریایی به ترتیب ۷۷ و ۶۸/۷ درصد بودند (جدول ۳). تاثیر جیره‌های آزمایشی بر خوراک مصرفی، وزن بدن و درصد تولید و توده تخم‌مرغ تولیدی در جدول ۴ گزارش داده شده است. اثرات متقابل منبع کلسیم و اسید آلی بر مصرف خوراک روزانه، وزن تخم‌مرغ، تولید تخم‌مرغ، توده تخم‌مرغ و ضریب تبدیل غذایی معنی دار بود ($P<0/01$). داده‌های مصرف خوراک نشان داد که زمانیکه اسید آلی به جیره‌های دارای پودر صدف اضافه شد منجر به بهبود مصرف خوراک شد اما در جیره‌های دارای دو منبع کلسیمی، مصرف خوراک مرغ‌های تخمگذار را کاهش داد ($P<0/01$). بالاترین درصد تولید تخم مرغ در گروه تغذیه شده با ترکیب صدف دریایی و کربنات کلسیم+اسید آلی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای آزمایشی داشت ($P<0/01$)، همچنین افزودن اسید آلی به جیره حاوی صدف دریایی منجر به بهبود تولید تخم مرغ گردید، ولی تاثیری در سایر تیمارها مشاهده نشد. به نظر می‌رسد که کربنات به تنهایی یا در ترکیب با صدف و به صورت با و بدون اسید آلی، درصد تولید تخم‌مرغ کمتری در مقایسه با تیمار صدف حاوی اسید آلی داشت ($P<0/01$).

در مقایسه با کربنات کلسیم، تغذیه جیره‌های دارای صدف منجر به کاهش وزن و توده تخم‌مرغ تولیدی شد و افزودن اسیدیفایر کاهش وزن را جبران نمود ($P<0/01$)، بیشترین وزن تخم مرغ در گروه تغذیه شده با صدف دریایی به علاوه اسید آلی مشاهده شد که اختلاف معنی داری با سایر تیمارهای آزمایشی داشت و کمترین وزن تخم مرغ در تیمارهای حاوی صدف دریایی و ترکیب صدف+کربنات کلسیم حاوی اسید آلی بدست آمد بررسی داده های توده تخم مرغ تولیدی در روز نشان داد که تیمارهای حاوی صدف و ترکیب صدف+ کربنات کمترین توده تخم مرغ تولیدی در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایشی داشتند ($P<0/01$). بطور کلی، افزودن اسید آلی به جیره های حاوی کربنات کلسیم، تغییر معنی داری در خوراک مصرفی و ضریب تبدیل خوراک، تولید تخم مرغ، وزن و توده تخم مرغ ایجاد نکرد، در حالیکه، به کاربردن اسید آلی در جیره های حاوی صدف دریایی موجب بهبود مصرف خوراک، تولید تخم مرغ و ضریب تبدیل خوراک مصرفی و افزایش وزن و توده تخم مرغ گردید. در جیره های حاوی ترکیب کربنات کلسیم و پودر صدف، افزودن اسید آلی در بهبود تولید تخم مرغ، ضریب تبدیل غذایی و توده تخم مرغ، موثر بود ($P<0/01$).

اثرات اصلی منبع کلسیم جیره وافزودن اسید آلی و اثرات متقابل آن‌ها بر درصد زرده و سفیده، رنگ زرده، واحد هاو، ارتفاع سفیده و استحکام پوسته تاثیر معنی‌داری نداشتند ($P>0/05$). به کاربردن صدف در جیره منجر به بهبود عددی ضخامت پوسته تخم مرغ در مقایسه با کربنات کلسیم و ترکیب آنها گردید ($P=0/06$). اثرات متقابل اسید آلی و منبع کلسیم جیره بر درصد پوسته تخم‌مرغ تاثیرگذار بودند به‌طوریکه کمترین درصد پوسته در تیمار کربنات کلسیم مشاهده شد که افزودن اسیدیفایر این کاهش را جبران نمود و تا حد درصد پوسته مرغ‌های تخمگذار تغذیه شده با پودر صدف رسید ($P<0/01$)، افزودن اسیدیفایر در سایر منابع، تاثیری بر درصد پوسته تخم مرغ نداشت (جدول ۵).

جدول٤- تاثیر منبع کلسیم و اسید آلی بر عملکرد مرغ‌های تخمگذار از سن ۵۰ تا ۶۲ هفتگی

اثرات اصلی	خوراک مصرفی (گرم در روز/ پرنده)	وزن تخم‌مرغ (گرم)	تولید تخم مرغ (روز مرغ، درصد)	توده تخم‌مرغ (گرم در روز)	ضریب تبدیل خوراک[1]
منبع کلسیم					
کربنات کلسیم	۹۷/۹۱	۵۹/۵۵	۸۳/۷۴	۴۹/۹	۲/۰۳
پودر صدف	۹۸/۱۸	۵۹/۷۹	۸۱/۹۳	۴۹/۰	۱/۹۷
کربنات کلسیم و پودر صدف (۵۰:۵۰)	۹۷/۵۴	۵۹/۴۲	۸۲/۸۵	۴۹/۲	۲/۰۲
خطای معیار استاندارد شده (SEM)	۰/۱۷۹	۰/۰۸۱	۰/۴۸۲	۰/۰۸۱	۰/۰۱۶
اسید آلی					
بدون اسید آلی	۹۷/۸۵	۵۹/۵۰	۸۱/۴۲	۴۸/۵	۲/۰
با اسید آلی	۹۷/۹۰	۵۹/۶۸	۸۴/۲۷	۵۰/۳	۲/۰۱
خطای معیار استاندارد شده (SEM)	۰/۱۴۶	۰/۰۶۶	۰/۳۹۳	۰/۲۴	۰/۰۱۳
اثرات متقابل					
کربنات کلسیم	۹۷/۷۶^{bc}	۵۹/۷۰^{b}	۸۳/۴۸^{ab}	۴۹/۹^{a}	۱/۹۹^{b}
کربنات کلسیم + اسید آلی	۹۸/۰۶^{ab}	۵۹/۴۱^{bc}	۸۴/۰۰^{ab}	۴۹/۹^{a}	۱/۹۵^{b}
پودر صدف	۹۷/۷۷^{bc}	۵۹/۳۰^{c}	۸۰/۵۳^{c}	۴۷/۷^{b}	۱/۹۸^{b}
پودر صدف + اسید آلی	۹۸/۵۸^{a}	۶۰/۲۹^{a}	۸۳/۳۳^{b}	۴۹/۹^{a}	۲/۰۹^{a}
کربنات کلسیم و پودر صدف	۹۸/۰۳^{ab}	۵۹/۵۱^{bc}	۸۰/۲۳^{c}	۴۷/۸^{b}	۲/۰۸^{a}
کربنات کلسیم و پودر صدف + اسید آلی	۹۷/۰۶^{c}	۵۹/۳۳^{c}	۸۵/۴۷^{a}	۵۰/۳^{a}	۱/۹۶^{b}
خطای معیار استاندارد شده (SEM)	۰/۲۵۳	۰/۱۱۴	۰/۶۸۱	۰/۴۲	۰/۰۲۳
درصد احتمال خطا، P≤					
منبع کلسیم	۰/۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۲
اسید آلی	۰/۸۳۰	۰/۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۴۷
منبع کلسیم × اسید آلی	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱

$^{b-c,a}$میانگین‌های هر ردیف با حروف غیرمشترک دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P <۰/۰۵).

[1] ضریب تبدیل غذایی از تقسیم گرم خوراک مصرفی بر توده تخم مرغ تولیدی بدست می آید.

تاثیر منبع کلسیم و اسیدیفایر برضرایب قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی کلسیم در آخر دوره آزمایش در جدول ۶ نشان داده شده است. میزان اتلاف داخلی کلسیم در مرغ‌های تخمگذار ۶۲ هفته، در آزمایش حاضر ۷۲۶ میلی‌گرم در کیلوگرم میلی گرم در کیلوگرم جیره برآورد گردید که برای محاسبه ضرایب قابلیت هضم حقیقی کلسیم مورد استفاده قرار گرفت. ضرایب قابلیت هضم ظاهری ایلئومی کلسیم در کربنات کلسیم، صدف دریایی و ترکیب آنها به ترتیب ۵۳/۴، ۵۱/۵ و ۴۷ درصد بود، که با افزودن اسید آلی، این ضرایب به ترتیب به ۶۰/۷، ۵۹ و ۶۰/۴ درصد افزایش یافت، البته این افزایش فقط در مورد تیمار ترکیبی کربنات کلسیم و صدف معنی دار بود. آزمون مقایسه میانگین ها نشان داد که اثر متقابل منبع کلسیم و افزودن اسید آلی بر ضرایب قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی کلسیم معنی دار بود (P<۰/۰۱)، بطوریکه، بالاترین ضریب قابلیت هضم ظاهری کلسیم در تیمار حاوی ترکیب کربنات کلسیم+پودر صدف با اسید آلی (۶۰/۴ درصد) و کمترین ضریب قابلیت هضم ظاهری کلسیم در تیمار حاوی ترکیب کربنات کلسیم+پودر صدف بدون اسید آلی (۴۷ درصد) مشاهده شد.

جدول ۵- تاثیر منبع کلسیم و اسید آلی بر خصوصیات کیفی تخم‌مرغ در سن ۶۲ هفتگی

اثرات اصلی	خصوصیات کیفی تخم‌مرغ						
	سفیده ٪	زرده ٪	پوسته ٪	ضخامت پوسته (mm)	مقاومت پوسته (N)	واحد هاو	رنگ زرده
منبع کلسیم							
کربنات کلسیم	۵۷/۵۸	۳۲/۳۹	۱۰/۰۴	۰/۳۱	۴۰/۳	۷۴/۷۹	۵/۳۳
پودر صدف	۵۷/۹۱	۳۱/۸۲	۱۰/۲۷	۰/۳۳	۴۴/۲	۷۵/۰۳	۵/۳۲
کربنات کلسیم و پودر صدف (۵۰:۵۰)	۵۸/۸۹	۳۰/۸۵	۱۰/۲۷	۰/۳۲	۴۱/۸	۷۵/۱۸	۵/۴۶
خطای معیار استاندارد شده (SEM)	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۱۱۴	۰/۰۰۴	۱/۳۷	۰/۶۹	۰/۰۹
اثر اسید آلی							
بدون اسید آلی	۵۸/۵۵	۳۱/۲۶	۱۰/۱۹	۰/۳۲	۴۱/۶	۷۵/۱۱	۵/۳۱
با اسید آلی	۵۷/۷۰	۳۲/۱۱	۱۰/۱۹	۰/۳۲	۴۲/۶	۷۴/۸۹	۵/۴۳
خطای معیار استاندارد شده (SEM)	۰/۶۹۷	۰/۷۰۴	۰/۰۹۳	۰/۰۰۳	۱/۱۲	۰/۵۶۴	۰/۰۷۱
اثرات متقابل							
کربنات کلسیم	۵۹/۲۱	۳۱/۰۵	۹/۷۴	۰/۳۱	۳۷/۹	۷۳/۷۰	۵/۳۳
کربنات کلسیم + اسید آلی	۵۵/۹۵	۳۳/۷۲	۱۰/۳۳	۰/۳۲	۴۲/۸	۷۵/۸۹	۵/۳۳
پودر صدف	۵۷/۷۷	۳۱/۷۶	۱۰/۴۷[a]	۰/۳۳	۴۴/۰	۷۵/۱۸	۵/۱۸
پودر صدف + اسید آلی	۵۸/۰۶	۳۱/۸۹	۱۰/۰۶	۰/۳۲	۴۴/۵	۷۴/۸۹	۵/۴۶
کربنات کلسیم و پودر صدف (۵۰:۵۰)	۵۸/۶۷	۳۰/۹۷	۱۰/۳۶	۰/۳۲	۴۳/۰	۷۶/۴۶	۵/۴۲
کربنات کلسیم و پودر صدف + اسید آلی	۵۹/۱۱	۳۰/۷۲	۱۰/۱۸	۰/۳۲	۴۰/۶	۷۳/۹۰	۵/۵۰
خطای معیار استاندارد شده (SEM)	۱/۲۰۸	۱/۲۲۰	۰/۱۶۱	۰/۰۰۵	۱/۹۴	۰/۹۷۷	۰/۱۲۳
درصد احتمال خطا، ≤P							
منبع کلسیم	۰/۵۸	۰/۴۵	۰/۲۷	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۹۲	۰/۴۶
اسید آلی	۰/۳۹	۰/۴۱	۰/۹۸	۰/۹۰	۰/۵۲	۰/۷۸	۰/۲۳
منبع کلسیم × اسید آلی	۰/۲۴	۰/۴۳	۰/۰۱	۰/۴۲	۰/۱۹	۰/۰۷	۰/۵۱

[b-c,a]میانگین‌های هر ردیف با حروف غیرمشترک دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P <۰/۰۵).

ضرایب قابلیت هضم حقیقی ایلئومی کلسیم در کربنات کلسیم، صدف دریایی و ترکیب آنها به ترتیب ۶۹/۹، ۶۵/۴ و ۶۲/۲ درصد بود، که با افزودن اسید آلی، این ضرایب به ترتیب به ۷۴/۴، ۷۴ و ۷۵/۳ درصد افزایش یافت، هر چند که این افزایش در تیمار صدف دریایی و ترکیب صدف و کربنات کلسیم، معنی دار بود (P<۰/۰۱).

نتایج بررسی ابقاء ظاهری کلسیم در هفته ششم آزمایش نشان داد که اثر اصلی افزودن اسید آلی بصورت عددی معنی د ار بوده و منجر به افزایش ابقاء ظاهری کلسیم گردید (P=۰/۰۶). در هفته پایانی آزمایش (۶۲ هفتگی)، اثر متقابل منبع کلسیم و اسید آلی بر ابقاء ظاهری کلسیم معنی دار بود (P <۰/۰۱)، بطوریکه بالاترین ضریب در تیمار صدف+اسید آلی و کمترین در تیمار کربنات کلسیم بدست آمد.

جدول ٦- تاثیر منبع کلسیم و اسید آلی بر ضرایب قابلیت هضم ایلئومی کلسیم در هفته ٦٢ و ابقاء ظاهری کلسیم در هفته های ٥٦ و ٦٢ در مرغ‌های تخمگذار (درصد)

اثرات اصلی	قابلیت هضم ایلئومی		ابقاء ظاهری کل دستگاه گوارش	
	ظاهری	حقیقی	هفته ۵۶	هفته ۶۲
منبع کلسیم				
کربنات کلسیم	۵۷/۱	۷۲/۱	۳۹/۴	/۱
پودر صدف	۵۵/۳	۶۹/۷	۴۲/۷	/۲
کربنات کلسیم و پودر صدف (۵۰:۵۰)	۵۳/۷	۶۸/۷	۳۹/۶	/۲
خطای معیار استاندارد شده (SEM)	۱/۹۶	۱/۹۵	۱/۷	۲/۱
اسید آلی				
بدون اسیدیفایر اسید آلی	۵۳/۲	۶۸/۷	۳۸/۶ ^{b}	۴۴/۸
دارای اسیدیفایر اسید آلی	۵۷/۵	۷۱/۷	۴۲/۶ ^{a}	۵۴/۲
خطای معیار استاندارد شده (SEM)	۱/۶۱	۱/۶۰	۱/۴	۳/۸
اثرات متقابل				
کربنات کلسیم	۵۳/۴^{abc}	۶۹/۹^{ab}	۳۶/۴	۳۸/۶^{c}
کربنات کلسیم + اسید آلی	۶۰/۷^{a}	۷۴/۴^{a}	۴۲/۳	۴۹/۶^{abc}
پودر صدف	۵۱/۵^{bc}	۶۵/۴^{b}	۳۹/۰	۴۹/۰^{abc}
پودر صدف + اسید آلی	۵۹/۰^{ab}	۷۴/۰^{a}	۴۶/۳	۵۹/۳^{a}
کربنات کلسیم و پودر صدف (۵۰:۵۰)	۴۷/۰^{c}	۶۲/۲^{b}	۴۰/۱	۴۶/۷^{bc}
کربنات کلسیم و پودر صدف + اسید آلی	۶۰/۴^{a}	۷۵/۳^{a}	۳۹/۱	۵۳/۷^{ab}
خطای معیار استاندارد شده (SEM)	۲/۷۷	۲/۷۸	۲/۴۹	۳/۷۹
درصد احتمال خطا، P≤				
منبع کلسیم	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۳۵	۰/۰۴
اسید آلی	۰/۰۶	۰/۲۱	۰/۰۶	۰/۰۰۵
منبع کلسیم × اسید آلی	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۱۳	۰/۰۱

$^{b-c,a}$میانگین‌های هر ردیف با حروف غیرمشترک دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P <۰/۰۵).

بحث

ساختار و اندازه ذرات منبع کلسیم بر میزان حلالیت آن تاثیرگذار است. در این آزمایش، میانگین قطر هندسی ذرات کربنات کلسیم و صدف نزدیک به هم بود که تفاوت قابل توجهی هم در درصد حلالیت آزمایشگاهی منابع مورد بررسی مشاهده نشد. حلالیت منبع کلسیم روی توانایی استفاده از آن و در نتیجه روی کیفیت استخوان و پوسته تخم‌مرغ تاثیر مرغ می‌گذارد. تفاوت در میزان حلالیت را محققین به تفاوت در اندازه ذرات ارتباط داده‌اند. نرخ حلالیت آزمایشگاهی یک منبع کلسیمی با حلالیت در داخل بدن رابطه معکوس دارد و نسبت به اندازه ذرات پیش بینی کننده بهتری برای کیفیت پوسته تخم‌مرغ و وضعیت استخوان می‌باشد (Zhang و Coon، ۱۹۹۷).

در آزمایش حاضر، نسبت به جیره دارای پودر صدف، خوراک مصرفی مرغ‌های تخمگذار دریافت کننده جیره دارای کربنات + صدف کاهش معنی‌داری داشت و وزن بدن مرغ‌ها تحت تاثیر منبع کلسیمی قرار نگرفت (داده‌ها نشان داده نشده است). اگرچه انرژی عامل اصلی تاثیرگذار بر میزان مصرف خوراک در طیور است اما

مرغ‌های تخمگذار دارای اشتهای اختصاصی به کلسیم هستند و نیاز کلسیمی بدن ممکن است روی مصرف خوراک تاثیرگذار باشد (Rathnayaka و همکاران، ۲۰۱۹) و داده‌های این آزمایش نشان می‌دهد که ممکن است خوراک مصرفی روی کیفیت پوسته نیز موثر باشد زیرا صرفنظر از اسیدیفایر، پودر صدف موجب بهبود کیفیت پوسته شد که ممکن است به دلیل دریافت کلسیم بیشتر به واسطه مصرف خوراک بیشتر باشد. تاثیر منبع کلسیم بر درصد تولید نیز نشان داد که کربنات نسبت به صدف موجب افزایش وزن تخم‌مرغ شد اما درصد تولید را کاهش داد. به نظر می‌رسد در این آزمایش رابطه مثبتی بین درصد تولید با خوراک مصرفی و رابطه معکوسی بین درصد تولید و وزن تخم‌مرغ وجود داشت و با افزایش اندازه تخم‌مرغ، مرغ‌ها درصد تولید را کاهش داده‌اند بطوریکه در مرغ‌های تغذیه شده با پودر صدف، وزن تخم‌مرغ و درصد پوسته کاهش یافته اما درصد تولید افزایش یافته است. برخلاف نتایج آزمایش حاضر، گزارش شده است که منابع مختلف کلسیمی (کربنات، صدف یا پوسته تخم‌مرغ) تاثیری بر درصد تولید تخم‌مرغ (Hen-day) نداشتند (Al-Ziyadi و همکاران، ۲۰۲۰؛ Islam و Nishibori، ۲۰۲۱؛ Lee و همکاران، ۲۰۲۱؛ Saunders-Blades و همکاران، ۲۰۰۹؛ Tunç و Cufadar، ۲۰۱۵). موافق با نتایج آزمایش حاضر، محققین با اعمال نسبت‌های مختلفی از کربنات کلسیم یا پوسته تخم‌مرغ (۷/۵ درصد کربنات کلسیم؛ ۵ درصد کربنات کلسیم و ۲/۵ درصد پوسته تخم‌مرغ؛ ۲/۵ درصد کربنات کلسیم و ۵ درصد پوسته تخم‌مرغ؛ ۷/۵ درصد پوسته تخم‌مرغ) در جیره مرغ‌های تخمگذار به مدت ۱۲ هفته گزارش کردند که تغذیه جیره دارای ۷/۵ درصد پوسته تخم‌مرغ منجر به بهبود خوراک مصرفی، کلسیم و فسفر دریافتی، درصد و وزن تخم‌مرغ تولیدی شد (Ahmad و Balander، ۲۰۰۴؛ Kismiati و همکاران، ۲۰۱۲).

یکی از مهمترین فراسنجه‌ها در کارائی و تاثیرگذاری منابع مختلف کلسیمی، کیفیت و درصد پوسته تخم‌مرغ است. نشان داده شده است که ذرات درشت در سنگدان دیرتر حل می‌شوند و به مدت طولانی‌تری کلسیم مورد نیاز مرغ‌های تخمگذار را تامین می‌کنند و هرچه این مدت زمان تامین کلسیم طولانی‌تر باشد فشار به استخوان‌های مرغ برای تامین کلسیم کمتر خواهد بود و می‌تواند منجر به حفظ درصد و بقای تولید و کیفیت پوسته تخم‌مرغ شود. منابع مختلف کلسیمی تاثیر یکسانی بر درصد پوسته، ضخامت و استحکام پوسته داشتند، هر چند که بهبود نسبی در ضخامت پوسته تخم مرغ در تیمار حاوی صدف دریایی مشاهده شد که مرتبط با اندازه ذرات نسبتا مشابه کربنات کلسیم و صدف (۷۰۵ در مقابل ۶۸۳ میکرومتر) می باشد. توزیع اندازه ذرات منابع کلسیمی در جیره مرغ های تخمگذار را می توان مهم ترین عامل تاثیرگذار بر کیفیت پوسته تخم مرغ دانست. موافق با نتایج آزمایش حاضر، گنجاندن ۳ منبع کربنات کلسیم (Saunders-Blades و همکاران، ۲۰۰۹) یا کربنات کلسیم، پودر پوسته تخم‌مرغ یا پودر صدف در اندازه‌های مختلف (Tunç و Cufadar، ۲۰۱۵) یا فقط کربنات کلسیم در اندازه و سطوح مختلف (Safaa و همکاران، ۲۰۰۸؛ Świątkiewicz و همکاران، ۲۰۱۵) یا اعمال نسبت‌های مختلفی از کربنات کلسیم، پودر پوسته تخم‌مرغ یا پودر صدف (به طور کامل یا ترکیبی از هر منبع به صورت یک سوم یا دو سوم) در جیره مرغ‌های تخمگذار (Olgun و همکاران، ۲۰۱۵) بر کیفیت پوسته، وزن مخصوص تخم‌مرغ، ضخامت و مقاومت پوسته تخم‌مرغ تاثیر نداشت (Olgun و همکاران، ۲۰۱۵) و جایگزینی کربنات کلسیم با صدف (۵۰ درصد جایگزینی) در جیره مرغ‌های تخمگذار منجر به بهبود کیفیت پوسته شد (Ahmad و Balander، ۲۰۰۴). همانند کیفیت پوسته، سایر فراسنجه‌های مربوط به کیفیت تخم‌مرغ شامل درصد زرده و سفیده، ارتفاع سفیده و واحد هاو و رنگ زرده نیز تحت تاثیر منابع کلسیمی قرار نگرفت. برخلاف نتایج آزمایش حاضر، در مقایسه با پوسته صدف خوراکی، تغذیه صدف معدنی یا پوسته تخم‌مرغ دارای ذرات درشت منجر به افزایش ارتفاع سفیده شد و رنگ زرده تخم‌مرغ مرغ‌های تغذیه شده با پوسته تخم‌مرغ دارای ذرات ریز، تیره‌تر از سایر منابع کلسیمی بود ولی موافق با نتایج این آزمایش، واحد هاو و کیفیت پوسته تحت تاثیر منابع کلسیمی قرار

نگرفت (Lee و همکاران، ۲۰۲۱). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که منابع کلسیمی مورد استفاده در این آزمایش نیاز کلسیمی مرغ‌های تخمگذار را به منظور حفظ کیفیت پوسته تامین کرده‌اند در این آزمایش، قابلیت هضم ظاهری ایلئومی کلسیم درکربنات و پودر صدف تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند و عدد قابلیت هضم به دست امده در آزمایش حاضر، در محدوده گزارش شده (۰/۳۷ تا ۰/۷۲) برای قابلیت هضم کلسیم در جیره‌های عملی طیور تخمگذار بود (Bello و Korver، ۲۰۱۹؛ Englmaierová و همکاران، ۲۰۱۷). از مهمترین عوامل موثر بر قابلیت هضم کلسیم منابع مختلف، اندازه ذرات و میزان حلالیت منابع کلسیمی است و در بررسی و مقایسه نتایج تحقیقات بایستی مورد توجه قرار بگیرد. در آزمایش حاضر، اندازه ذرات کربنات کلسیم و صدف مورد استفاده و میزان حلالیت کلسیم آن‌ها تقریبا برابر بود و همین امر احتمالاً منجر به عدم تفاوت در قابلیت هضم کربنات و صدف شده است. علاوه بر این، میزان مصرف خوراک طیور عامل تاثیرگذار دیگری روی قابلیت هضم کلسیم است که احتمالاً با تاثیرگذاری بر سرعت عبور خوراک ممکن است روی قابلیت هضم کلسیم موثر باشد که در آزمایش حاضر خوراک مصرفی طیور تفاوت معنی‌داری با هم نداشت و می‌تواند دلیل احتمالی برای عدم تفاوت معنی‌دار در قابلیت هضم کلسیم کربنات و صدف می‌باشد. در آزمایش حاضر، تاثیر رفتار اسیدیفایر بر قابلیت هضم کلسیم با توجه به منبع کلسیمی متفاوت بود به طوریکه افزودن اسیدیفایر به جیره دارای کربنات کلسیم منجر به افزایش قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی کلسیم (به ترتیب ۱۲ و ۶ درصد) شد و افزودن تگاسید به جیره دارای پودر صدف منجر به افزایش قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی کلسیم (به ترتیب ۱۴ و ۱۳ درصد) شد و زمانیکه کربنات و پودر صدف همزمان با هم به جیره اضافه شدند، افزودن اسیدیفایر منجر به افزایش بیشتر قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی کلسیم (به ترتیب ۱۱ و ۱۷ درصد شد.). چندین نقش برای اسیدهای آلی از جمله کاهش pH کیموس معدی، افزایش زمان ماندگاری خوراک در معده، تحریک ترشحات پانکراس، بهبود مورفولوژی مخاط و تامین سوبسترا برای سوخت و ساز که منجر به بهبود هضم و جذب خوراک می‌شود، ذکر شده است (Partanen و همکاران، ۲۰۰۱). اسیدیته و شرایط دستگاه گوارش بر قابلیت هضم کلسیم تاثیرگذار است که البته عواملی نظیر Pka اسید، مقدار اسیدیفایر اضافه شده و pH نهائی روده کوچک نیز بستگی دارد.

در تحقیقات قبلی، قابلیت هضم ظاهری کلسیم برای کربنات کلسیم دارای ذرات ریز و درشت، به ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۳۵ (Diana و همکاران، ۲۰۲۲) و قابلیت هضم ظاهری کلسیم برای دی‌کلسیم فسفات و کربنات کلسیم دارای ذرات ریز و درشت برای مرغ‌های تخمگذار ۷۰ هفته به ترتیب ۰/۷۱۲، ۰/۶۵۲ و ۰/۴۸۲ گزارش شده است (Diana و همکاران، ۲۰۲۱). قابلیت هضم حقیقی کلسیم در آزمایش حاضر تفاوت زیادی با مقادیر ظاهری آن داشت که نشان از ترشح مقدار زیاد کلسیم به صورت اندوژنوس می‌باشد. در همین راستا، گزارش شده است که دفع اندوژنوس در پولت‌های تخمگذار ۶۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ازاء کیلوگرم خوراک مصرفی بود که حدود ۷۰ درصد بیشتر از مقدار آن برای جوجه‌های گوشتی (۴۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ازاء کیلوگرم خوراک مصرفی) بود (Arvari و همکاران، ۲۰۲۲) درحالیکه سایر محققین گزارش دادند که بسته به سن مرغ، میزان اندوژنوس دفعی مرغ‌های تخمگذار متفاوت است و در سنین ۴۰، ۵۰ و ۷۰ هفتگی به ترتیب ۷۹۰، ۸۶۰ و ۹۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ازاء کیلوگرم خوراک مصرفی بود (Diana و همکاران، ۲۰۲۱). تفاوت قابلیت هضم ایلئومی ظاهری و ابقاء کلسیم در کل دستگاه گوارش، به نحوه نمونه‌گیری (نیاز یا عدم نیاز به کشتن حیوان) و محل نمونه برداری ارتباط دارد و مقدار این دو عدد برای یک ماده مثل کلسیم بسیار متغیر است زیرا به میزان دفع اندوژنوس (تفاوت در میزان قابلیت هضم ظاهری و حقیقی) و همچنین میزان دفع از طریق ادرار بستگی دارد که مورد دفع از طریق ادرار به تعادل هورمونی در کلیه‌های طیور ارتباط دارد که غلظت کلسیم و فسفر پلاسما نیز بر تعادل هورمونی تاثیرگذار است. در آزمایش حاضر به نظر می‌رسد تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین قابلیت هضم ایلئومی و ابقاء ظاهری در کل دستگاه گوارش

وجود دارد و ضرایب ابقاء ظاهری کلسیم در کل دستگاه گوارش بسیار کمتر از قابلیت هضم ایلئومی ظاهری و حقیقی است. غلظت بالای کلسیم پلاسما منجر به فعال شدن هورمون کلسی‌تونین می‌شود و برعکس هورمون پاراتورمون عمل می‌کند. با توجه به عدم تفاوت در قابلیت هضم منابع کلسیمی و همچنین در میزان حلالیت کربنات یا پودر صدف، به نظر می‌رسد که عامل اصلی در بروز این تفاوت در قابلیت هضم ایلئومی و همچنین تفاوت بین قابلیت هضم ایلئومی با کل دستگاه گوارش به تاثیر اسیدیفایر مرتبط باشد. نکته دیگر در رابطه با ابقاء ظاهری کل دستگاه گوارش این است که معمولا میزان قابلیت هضم را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند و دارای خطای مشخصی است (Mutucumarana و همکاران، ۲۰۱۴) که موافق با نتایج آزمایش حاضر می‌باشد درحالیکه در تحقیق دیگری مقدار ابقاء کلسیم در کل دستگاه گوارش بالاتر از مقدار قابلیت هضم ایلئومی کلسیم برای کربنات کلسیم گزارش شده است (Diana و همکاران، ۲۰۲۲) و دلیل احتمالی آن را مقدار بالای الیگوساکاریدهای غیر قابل هضم خوراک ذکر کرده‌اند که منجر به افزایش فعالیت میکروبی در سکوم و کاهش pH سکوم و افزایش حلالیت کلسیم بخصوص برای ذرات درشت عبور کرده از روده می‌شود. همچنین عامل دیگری که بر قابلیت هضم کلسیم تاثیرگذار است زمان نمونه‌برداری از ایلئوم و فضولات می‌باشد زیرا اگر مرغ در نوبت صبح بین ساعت ۸ تا ۱۱ باشد غلظت سرمی کلسیم در بالاترین حد خود قرار داشته و می‌تواند جذب کلسیم از دستگاه گوارش را کاهش دهد که در نتیجه بر قابلیت هضم کلسیم تاثیرگذار است (David و همکاران، ۲۰۲۱).

گزارش شده است که افزودن اسیدهای آلی همراه با آنزیم فیتاز به جیره مرغ‌های تخمگذار تغذیه شده با مکمل دی‌کلسیم فسفات منجر به بهبود درصد تولید در مقایسه با جیره شاهد یا اسید آلی به تنهائی شد اما بر وزن تخم‌مرغ، قابلیت هضم کلسیم و فسفر، غلظت کلسیم سرم و استخوان درشت‌نی تاثیر نداشت که نشان می‌دهد اسیدهای آلی منجر به بهبود قابلیت استفاده از دی‌کلسیم فسفات به عنوان یک منبع کلسیمی نشده است (Sari و همکاران، ۲۰۱۲). در رابطه با تاثیر اسیدیفایرها بر قابلیت هضم کلسیم منابع مختلف کلسیمی بخصوص در مرغ‌های تخمگذار اطلاعات محدودی وجود دارد. گزارش شده است که افزودن اسید سیتریک به جیره مرغ‌های تخمگذار ۲۴ هفته تغذیه شده با سطوح مختلف کلسیم جیره (۳ و ۳/۲۵ درصد) با و بدون آنزیم فیتاز (۳۰۰ یا ۶۰۰ واحد فیتاز) منجر به افزایش کلسیم پوسته تخم‌مرغ مرغ‌های تغذیه شده با ۳/۲۵ درصد کلسیم شد اما بر کیفیت تخم‌مرغ تاثیر نداشت (Vargas-Rodríguez و همکاران، ۲۰۱۶) ولی وزن تخم‌مرغ را افزایش داد که تا حدودی در توافق با نتایج آزمایش حاضر بود. در تحقیق Sari و همکاران (۲۰۱۲)، اسید لاکتیک و ترکیبی از اسیدهای آلی بر کیفیت پوسته تخم‌مرغ تاثیری نداشتند. اسیدیفایر منجر به کاهش pH محتویات روده شده و در این شرایط کلسیم به طور کامل حل و به شکل یونیزه درآمده و کمتر با اسید فایتیک باند می‌شود (Gifford و Clydesdale، ۱۹۹۰). این محققین دلیل بهبود کلسیم پوسته را افزایش حلالیت کلسیم و بهبود هضم و جذب کلسیم عنوان کردند که بهبود قابلیت هضم در نتایج آزمایش حاضر نیز به دست آمد. در آزمایش حاضر، تاثیر اندکی از افزودن اسیدیفایر بر کیفیت پوسته تخم مرغ مشاهده شد که فقط افزودن اسیدیفایر تگاسید به جیره دارای کربنات کلسیم منجر به بهبود درصد پوسته تخم‌مرغ شد اما تاثیری بر ضخامت و مقاومت پوسته در مقابل شکست نداشت. ماندگاری منابع کلسیمی در دستگاه گوارش و جذب آنها با اندازه ذرات رابطه مستقیم دارد، احتمالا، تاثیر اسید آلی هم با همین موضوع در ارتباط باشد و کاهش اسیدیته دستگاه گوارش بطور نسبتا یکسان در همه تیمارها اتفاق افتاده است. در رابطه با تاثیر اسیدیفایر بر pH تخم‌مرغ و واحد هاو، برخی محققین گزارش کرده اند که اسیدیفایر منجر به افزایش واحد هاو می‌شوند که از طریق کاهش pH و افزایش کلسیم و منیزیوم آلبومین می‌باشد (Sanlier و Üstün، ۲۰۲۱) اما چنین نتیجه‌ای در آزمایش حاضر و تحقیقات سایرین به دست نیامد (Vargas-Rodríguez و همکاران، ۲۰۱۶). تحقیقات در زمینه تاثیر اسیدیفایرها بر رنگ زرده رنگدانه‌های محلول در چربی بسیار کم

است. گزارش شده است که اسیدیفایرها بر متابولیسم چربی‌ها تاثیری ندارند و همین امر ممکن است دلیل عدم تاثیرگذاری آن‌ها بر رنگ زرده باشد (Hencken، ۱۹۹۲). همچنین گزارش شده است که کاهش غلظت کلسیم جیره نیز منجر به افزایش رنگ زرده می‌شود زیرا افزایش کلسیم جیره منجر به کاهش جذب رنگدانه‌ها می‌شود (Vargas-Rodríguez و همکاران، ۲۰۱۶).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به طور کلی، در شرایط آزمایش حاضر، تفاوت قابل ملاحظه‌ای در قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی کلسیم کربنات کلسیم و پودر صدف مشاهده نشد، اگرچه اسیدیفایر تگاسید منجر به بهبود قابلیت هضم ایلئومی کلسیم و کیفیت پوسته مرغ‌های تغذیه شده با پودر صدف به تنهایی یا در ترکیب با کربنات کلسیم شد. به طور کلی استفاده از هر کدام از این منابع کلسیمی با شرایط ذکر شده در این آزمایش، می‌تواند عملکرد و کیفیت تخم‌مرغ مرغ‌های تخمگذار را پشتیبانی کند و نویسندگان این مقاله توصیه می‌کنند که قابلیت هضم و تاثیر افزودن همزمان اسیدیفایر به جیره‌های دارای صدف یا کربنات کلسیم به تفکیک در هر اندازه ذره به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گیرد تا تاثیر اندازه ذرات به عنوان یک عامل تاثیرگذار در حلالیت و قابلیت هضم کلسیم بیشتر مورد بررسی قرار گیرد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

David, L., Abdollahi, M., Bedford, M., & Ravindran, V. (2021). Comparison of the apparent ileal calcium digestibility of limestone in broilers and layers. *British Poultry Science*, 62(6), 852-857. doi:10.1080/00071668.2021.1943313.

David, L., Abdollahi, M., Ravindran, G., Walk, C., & Ravindran, V. (2019). Studies on the measurement of ileal calcium digestibility of calcium sources in broiler chickens. *Poultry Science*, 98(11), 5582-5589. doi:10.3382/ps/pez314.

Diana, T. F., Calderano, A. A., Rostagno, H. S., Marques, M. R. d. L., Tavernari, F. d. C., Veroneze, R., & Albino, L. F. T. (2022). Apparent calcium retention and digestibility coefficients of limestone with different particle sizes in laying hens. *Scientia Agricola*, 80, e20210258. doi:10.1590/1678-992x-2021-0258.

Diana, T. F., Calderano, A. A., TAVERNARI, F. d. C., Rostagno, H. S., TEIXEIRA, A. d. O., & Albino, L. F. T. (2021). Age and calcium sources in laying hen feed affect calcium digestibility. *Open Journal of Animal Sciences*, (11), 501-513. doi:10.4236/ojas.2021.113034

Ahmad, H. A., & Balander, R. J. (2004). Physiological response of layers to alternative feeding regimen of calcium source and phosphorus level. *International Journal of Poultry Science*, 3(2), 100-111. doi:10.3923/ijps.2004.100.111.

Al-Ziyadi, H. F., Al-Zamili, I. F., & Al-Gharawi, J. K. (2020). The Effect of Different Sources of Calcium in The Diet on Some Productive Traits of Laying Hens. *Plant Archives*, 20(2), 3869-3872. http://dx.doi.org/10.3923/ijps.2009.342.348.

Arvari, A. R. J., Goudarzi, S. M., & Abdollahi, M. R. (2022). Determination of apparent and true ileal digestibility of calcium in limestone with different particle sizes in broilers and pullets. *Journal of Livestock Science & Technologies*, 10(2). https://doi.org/10.22103/jlst.2022.20440.1439

Bello, A., & Korver, D. (2019). Long-term effects of Buttiauxella sp. phytase on performance, eggshell quality, apparent ileal Ca and P digestibility, and bone properties of white egg layers. *Poultry Science*, 98(10), 4848-4859. doi:10.3382/ps/pez220.

Englmaierová, M., Skřivan, M., Skřivanová, E., & Čermák, L. (2017). Limestone particle size and Aspergillus niger phytase in the diet of older hens. *Italian Journal of Animal Science*, 16(4), 608-615. 10. doi:1080/1828051x.2017.1309258.

Gifford, S. R., & Clydesdale, F. M. (1990). Interactions among calcium, zinc and phytate with three protein sources. *Journal of Food Science*, 55(6), 1720-1724. doi:10.1111/j.1365-2621.1990.tb03608.x.

Guinotte, F., & Nys, Y. (1991). Effects of particle size and origin of calcium sources on eggshell quality and bone mineralization in egg laying hens. *Poultry Science*, 70(3), 583-592. doi: 10.3382/ps.0701908.

Guinotte, F., Nys, Y., & De Monredon, F. (1991). The effects of particle size and origin of calcium carbonate on performance and ossification characteristics in broiler chicks. *Poultry Science*, 70(9), 1908-1920.

Hencken, H. (1992). Chemical and physiological behavior of feed carotenoids and their effects on pigmentation. *Poultry Science*, 71(4), 711-717. doi:10.3382/ps.0710711.

Islam, M. A., & Nishibori, M. (2021). Use of extruded eggshell as a calcium source substituting limestone or oyster shell in the diet of laying hens. *Veterinary Medicine and Science*, 7(5), 1948-1958. doi:10.1002/vms3.544.

Kismiati, S., Yuwanta, T., Zuprizal, Z., & Supadmo, S. (2012). The performance of laying hens fed different calcium source. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 37(4), 263-270. doi:10.14710/jitaa.37.4.263-270.

Lee, W.-D., Kothari, D., Niu, K.-M., Lim, J.-M., Park, D.-H., Ko, J., Eom, K., & Kim, S.-K. (2021). Superiority of coarse eggshell as a calcium source over limestone, cockle shell, oyster shell, and fine eggshell in old laying hens. *Scientific Reports*, 11(1), 13225. doi:10.1038/s41598-021-92589-y.

LOHMANN BREEDERS GmbH. (2021). Am Seedeich 9–11 | 27472 Cuxhaven | Germany.

Mutucumarana, R., Ravindran, V., Ravindran, G., & Cowieson, A. (2014). Measurement of true ileal digestibility and total tract retention of phosphorus in corn and canola meal for broiler chickens. *Poultry Science*, 93(2), 412-419. doi:10.2527/jas.2014-7884 .

Ndelekwute, E., Unah, U., & Udoh, U. (2019). Effect of dietary organic acids on nutrient digestibility, faecal moisture, digesta pH and viscosity of broiler chickens. *MOJ Anatomy & Physiology*, 2, 40-43. doi:10.15406/mojap.2019.06.00242.

Olgun, O., Yildiz, A. Ö., & Cufadar, Y. (2015). The effects of eggshell and oyster shell supplemental as calcium sources on performance, eggshell quality and mineral excretion in laying hens. *Indian Journal of Animal Research*, 49(2), 205-209. doi:10.5958/0976-0555.2015.00056.4.

Partanen, K., Jalava, T., Valaja, J., Perttilä, S., Siljander-Rasi, H., & Lindeberg, H. (2001). Effect of dietary carbadox or formic acid and fibre level on ileal and faecal nutrient digestibility and microbial metabolite concentrations in ileal digesta of the pig. *Animal Feed Science and Technology*, 93(3-4), 137-155. doi:10.1016/s0377-8401(01)00288-7.

Rathnayaka, R., Mutucumarana, R., & Andrew, M. (2019). Free-choice feeding of three different dietary calcium sources and their influence on egg quality parameters of commercial layers. *The Journal of Agricultural Sciences - Sri Lanka*, 15(1), 50-62, http://doi.org/10.4038/jas.v15i1.8671

Ravindran, V., Hew, L., Ravindran, G., & Bryden, W. (2005). Apparent ileal digestibility of amino acids in dietary ingredients for broiler chickens. *Animal Science*, 81(1), 85-97. doi:10.1079/asc42240085.

Safaa, H. M., Serrano, M., Valencia, D., Frikha, M., Jiménez-Moreno, E., & Mateos, G. (2008). Productive performance and egg quality of brown egg-laying hens in the late phase of production as influenced by level and source of calcium in the diet. *Poultry*

Science, 87(10), 2043-2051. doi:10.3382/ps.2008-00110.

Sanlier, N., & Üstün, D. (2021). Egg consumption and health effects: A narrative review. *Journal of Food Science*, 86(10), 4250-4261. doi:10.1111/1750-3841.15892.

Sari, M., Onol, A. G., Daskiran, M., & Cengiz, O. (2012). Egg production and calcium-phosphorus utilization of laying hens fed diets supplemented with phytase alone or in combination with organic acid. *International Journal of Poultry Sci*ence, 11(3), 181-189. doi:10.3923/ijps.2012.181.189.

SAS. (2004). Institute. SAS User's Guide. Version 9.4 ed. SAS Inst. Inc., Cary, NC.

Saunders-Blades, J., MacIsaac, J., Korver, D., & Anderson, D. (2009). The effect of calcium source and particle size on the production performance and bone quality of laying hens. *Poultry Science*, 88(2), 338-353. doi:10.3382/ps.2008-00278.

Short, F., Gorton, P., Wiseman, J., & Boorman, K. (1996). Determination of titanium dioxide added as an inert marker in chicken digestibility studies. *Animal Feed Science and Technology*, 59(4), 215-221. doi:10.1016/0377-8401(95)00916-7.

Świątkiewicz, S., Arczewska-Włosek, A., Krawczyk, J., Puchała, M., & Józefiak, D. (2015). Effects on performance and eggshell quality of particle size of calcium sources in laying hens' diets with different Ca concentrations. *Archives Animal Breeding*, 58(2), 301-307. doi:10.5194/aab-58-301-2015.

Tunç, A. E., & Cufadar, Y. (2015). Effect of calcium sources and particle size on performance and eggshell quality in laying hens. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 3(4), 205-209. doi:10.24925/turjaf.v3i4.205-209.262.

Vargas-Rodríguez, L. M., Morales-Barrera, J. E., Herrera-Haro, J. G., Antonio-Bautista, J., López-Pozos, R., & Hernández-Sánchez, D. (2016). Effect of citric acid, phytase and calcium levels on the calcium and phosphorus content in egg: yolk-albumen and shell, yolk color and egg quality in diets of laying hens. *Food and Nutrition Sciences*, 7(14), 1364-1374. doi:10.4236/fns.2016.714124.

Zhang, B., & Coon, C. N. (1997). The relationship of calcium intake, source, size, solubility in vitro and in vivo, and gizzard limestone retention in laying hens. *Poultry Science*, 76(12), 1702-1706. doi:10.1093/ps/76.12.1702.