



## اثر مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز آشامیدنی بر عملکرد رشد، فراسنجه‌های خونی، وضعیت آنتی‌اکسیدانی و پاسخ ایمنی جوجه‌های گوشتی در شرایط تنش حرارتی

مجید عیدی، حسینعلی قاسمی، ایمان حاج‌خدادادی، محمدحسین مرادی

گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران

تاریخ دریافت: ۳ مهر ماه ۱۴۰۰، تاریخ پذیرش: ۳ آذر ماه ۱۴۰۰

doi [10.22059/jvr.2021.320249.3140](https://doi.org/10.22059/jvr.2021.320249.3140)  [20.1001.1.20082525.1400.76.4.4.8](https://doi.org/10.22059/jvr.2021.320249.3140)

### چکیده

**زمینه مطالعه:** سطح بهینه مواد معدنی در جیره غذایی برای بهبود عملکرد و پاسخ ایمنی در برابر تنش‌های محیطی بسیار مهم است.

**هدف:** مطالعه حاضر به منظور بررسی اثرات مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز (CTM) در آب آشامیدنی بر عملکرد، هماتولوژی، بیوشیمی خون، وضعیت آنتی‌اکسیدانی و پاسخ ایمنی در جوجه‌های گوشتی تحت شرایط تنش حرارتی انجام شد.

**روش کار:** تعداد ۲۴۰ قطعه جوجه گوشتی در یک روزه راس ۳۰۸ به طور تصادفی به یکی از ۵ تیمار (هر تیمار شامل ۴ تکرار) تخصیص داده شدند: شاهد مثبت (دمای نرمال)، شاهد منفی (تنش حرارتی)، CTM کم (شاهد منفی + سطح کم CTM در آب)، CTM متوسط (شاهد منفی + سطح متوسط CTM در آب) و CTM بالا (شاهد منفی + سطح بالای CTM در آب). مقدار مکمل CTM در آب آشامیدنی در روزهای ۱ تا ۱۰، ۱۱ تا ۲۰، ۲۱ تا ۳۰، ۳۱ تا ۴۰ و ۴۱ تا ۵۰ برای سطوح کم به ترتیب ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۴۵ میلی‌گرم به ازای هر جوجه در روز بود. این مقادیر برای سطوح متوسط ۱/۰، ۱/۵، ۳/۰، ۴/۰ و ۴/۵ میلی‌گرم و برای سطوح بالا به ترتیب ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۴۰ و ۴۵ میلی‌گرم به ازای هر جوجه در روز بود.

**نتایج:** میانگین افزایش وزن در کل دوره آزمایشی در تیمار CTM متوسط در مقایسه با تیمار شاهد منفی بالاتر اما در مقایسه با تیمار شاهد مثبت پایین‌تر بود ( $P < 0/05$ ). نسبت هتروفیل به لنفوسیت و کل عیار پادتن علیه بیماری نیوکاسل در گروه‌های CTM متوسط و بالا مشابه گروه شاهد مثبت ولی بهتر از گروه شاهد منفی بود ( $P < 0/05$ ). همچنین فعالیت سوپراکسید دیسموتاز سرم خون در گروه CTM بالا بیشتر از گروه شاهد منفی بود ( $P < 0/05$ ).

**نتیجه‌گیری نهایی:** نتایج پیشنهاد می‌کند که استفاده از مکمل CTM در آب در سطح متوسط (۱/۰، ۱/۵، ۳/۰، ۴/۰ و ۴/۵ میلی‌گرم به ازای هر جوجه در روز در دوره‌های مختلف پرورشی) می‌تواند راهکاری برای مقابله با اثرات منفی تنش حرارتی باشد.

**کلمات کلیدی:** جوجه‌های گوشتی، تنش حرارتی، مکمل کلاته عناصر، ایمنی، وضعیت آنتی‌اکسیدانی

کپی‌رایت © تحقیقات دامپزشکی: دسترسی آزاد؛ کپی‌برداری، توزیع و نشر برای استفاده کامل با ذکر منبع آزاد است.

نویسنده مسئول: حسینعلی قاسمی، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران

پست الکترونیکی: [h-ghasemi@araku.ac.ir](mailto:h-ghasemi@araku.ac.ir)

### مقدمه

همچنین دفع مواد معدنی (از قبیل آهن، روی، سلنیوم و کروم) و ویتامین‌ها (نظیر ویتامین‌های A، C و E) را افزایش و غلظت آن‌ها را در سرم و کبد کاهش می‌دهد (۱۵). مواد معدنی کم‌نیاز نه تنها در تشکیل بافت‌های استخوانی بلکه در حفظ سلامتی و رشد و نمو جوجه‌های گوشتی نقش حیاتی دارند (۱۴). مواد معدنی کم‌نیاز ضروری مانند روی، منگنز، مس و آهن در بسیاری از فرایندهای هضم،

تنش گرمایی سبب تضعیف سیستم ایمنی، تغییرات فیزیولوژیکی، تلفات بالا و کاهش عملکرد رشد می‌شود، از این رو تنش گرمایی مهم‌ترین دغدغه برای صنعت پرورش طیور بخصوص در مناطق گرمسیری می‌باشد (۳۶). افزایش فعالیت غده آدرنال به واسطه تنش، سطح کورتیکواستروئیدهای سرم را افزایش می‌دهد که این امر سبب مختل شدن سیستم ایمنی طیور می‌شود (۲،۳). تنش گرمایی

مس و سلنیوم در آب آشامیدنی افزون بر سطح تجاری تأمین شده با منابع غیرآلی در جیره غذایی بر عملکرد رشد، هماتولوژی، غلظت عناصر کم‌نیاز، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، هورمون‌های تیروئیدی در سرم خون و پاسخ ایمنی در جوجه‌های گوشتی پرورش یافته تحت تنش حرارتی بود.

### مواد و روش کار

**پرنده‌ها، جیره‌های آزمایشی و مدیریت پرورش:** محل انجام آزمایش در مزرعه دانشگاه اراک بود و از سیستم قفس برای پرورش جوجه‌ها استفاده شد از تعداد ۲۴۰ قطعه جوجه خروس گوشتی یک‌روزه سویه راس ۳۰۸ به مدت ۵۰ روز استفاده شد. طرح آزمایشی استفاده شده در مطالعه حاضر طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار بود که هر تیمار شامل ۴ تکرار و هر تکرار شامل ۱۲ جوجه بود. جیره‌های آزمایشی برای تأمین مواد مغذی توصیه شده در کاتالوگ پرورشی سویه راس ۳۰۸ تنظیم شدند. اجزای جیره‌های آزمایشی در **جدول ۱** آمده است. گروه‌های آزمایشی عبارت بودند از: جوجه‌های پرورش یافته در شرایط دمای نرمال محیطی بدون هرگونه افزودنی در خوراک یا آب آشامیدنی (شاهد مثبت)، جوجه‌های پرورش یافته در شرایط تنش حرارتی و بدون هرگونه افزودنی در خوراک یا آب آشامیدنی (شاهد منفی)، شاهد منفی همراه با سطح کم مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز به میزان ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۴۵ میلی‌گرم به ازای هر جوجه در روز در آب آشامیدنی (CTM کم)، شاهد منفی همراه با سطح متوسط مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز به میزان ۱/۰، ۱/۵، ۳/۰، ۴ و ۴/۵ میلی‌گرم به ازای هر جوجه در روز در آب آشامیدنی (CTM متوسط) و شاهد منفی همراه با سطح زیاد مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز به میزان ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۴۰ و ۴۵ میلی‌گرم به ازای هر جوجه در روز در آب آشامیدنی (CTM بالا) به ترتیب برای دوره‌های ۱ تا ۱۰، ۱۱ تا ۲۰، ۲۱ تا ۳۰، ۳۱ تا ۴۰ و ۴۱ تا ۵۰ روزگی. دوزهای انتخاب شده در مطالعه حاضر بر اساس چندین پایلوت انجام شده پیش از مطالعه اصلی انتخاب و به عنوان دوزهای نهایی در نظر گرفته شدند. منبع کلاته عناصر کم‌نیاز در این طرح، مکمل کلاته معدنی بن‌زاجیک بود. این مکمل توسط شرکت دانش‌بنیان صدور احرار شرق (تهران، ایران) تولید شد که براساس فناوری پیشرفته ترکیبات کلاته و با قابلیت محلول در آب ساخته شد. هر کیلوگرم این محصول شامل ۵۶۰۰۰ میلی‌گرم روی، ۵۶۰۰۰ میلی‌گرم منگنز، ۸۰۰۰ میلی‌گرم مس، ۷۰۰ میلی‌گرم سلنیوم و ۱۷۰۰۰ میلی‌گرم آهن بود. محتویات مواد معدنی این محصول توسط روش

بیوسنتز و فیزیولوژیک بدن نقش دارند (۳۷،۳۹). معمولاً نیازهای مواد معدنی طیور در شرایط پرورش ایده‌آل تعیین می‌گردد. از آنجا که در سالن‌های پرورش، پرنده‌ها تحت تأثیر تنش‌های مختلف قرار می‌گیرند از این رو برای مقابله با عوامل تنش‌زا میزان نیاز به مواد معدنی افزایش می‌یابد (۲۵). از طرف دیگر شکل متداول منابع عناصر کم‌نیاز در جیره غذایی طیور اشکال غیر آلی نمک مانند اکسیدها، سولفات‌ها و کربنات‌ها می‌باشد (۲۶). با این حال، چنین اشکال غیر آلی وقتی در قسمت ابتدایی دستگاه گوارش در معرض pH اسیدی قرار بگیرند تمایل دارند که به راحتی از نمک‌های غیرآلی جدا شوند که می‌تواند منجر به افزایش آنتاگونیسم با سایر مواد تشکیل دهنده جیره غذایی در دستگاه گوارش گردد. این موضوع می‌تواند زیست‌فراهمی آن‌ها را کاهش و دفع آن‌ها را در خاک و آب افزایش دهد که در نتیجه منجر به آلودگی احتمالی محیط زیست می‌گردد (۴۱). امروزه تلاش بسیاری برای شناسایی، ارزیابی و جایگزینی مکمل‌های غیر آلی عناصر کم‌نیاز با مکمل‌های آلی آن که دارای زیست‌فراهمی بهتر هستند صورت گرفته است (۸،۲۶). اگرچه مواد معدنی کم‌نیاز ضروری در تعداد زیادی از فرایندهای فیزیولوژیکی، گوارشی و بیوسنتز در بدن دخالت دارد، اما نیاز به این عناصر برای جوجه‌های گوشتی در شرایط تنش گرمایی به خوبی مشخص نشده است و فقط مقادیر مورد نیاز از داده‌های تعیین شده برای شرایط نرمال محیطی استفاده می‌شود. از طرف دیگر احتمال دارد که افزایش سطح منابع غیرآلی عناصر کم‌نیاز در خوراک، به دلیل افزایش رقابت و اثرات تداخلی پیچیده بین عناصر کم‌نیاز و عناصر پرنیاز و همچنین بین برخی از عناصر کم‌نیاز و ویتامین‌ها، میزان جذب آن‌ها و در نتیجه عملکرد گله کاهش یابد.

فناوری کلات‌های پیشرفته (Advanced Chelate Compounds) فناوری جدیدی است که می‌تواند ساختارهای کارآمد را در زمینه‌های مختلف علمی از جمله پزشکی، کشاورزی، دام و طیور طراحی و سنتز کند (۱۰،۱۶). بر اساس این فناوری، عناصر معدنی مورد هدف بر اساس میل ترکیبی خود به روش خودچینی با اسیدهای آلی کیلیت می‌شوند. تا به امروز، اشکال مختلفی از مکمل‌های کلاته (کمپلکس اسیدهای آلی با عناصر) برای جیره‌های غذایی حیوانات و طیور تولید شده است و اثر آن‌ها در مطالعات مختلف تأیید شده است (۱۴،۲۴،۳۱،۳۲). مطالعات در مورد تأثیر مکمل اضافی عناصر کم‌نیاز کلاته در طول دوره رشد بر عملکرد رشد و فراسنجه‌های فیزیولوژیکی در جوجه‌های گوشتی تحت شرایط تنش حرارتی محدود است. بنابراین، هدف از مطالعه حاضر ارزیابی اثر سطوح مختلف یک مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز (Chelated trace mineral; CTM) شامل روی، منگنز، آهن،

خون یکی به داخل لوله‌های ونوجکت محتوی ۰/۵ میلی لیتر ماده ضد انعقاد اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA)، جمع‌آوری و به منظور اندازه‌گیری فراسنجه‌های هماتولوژی خون (میزان گلبول قرمز، گلبول سفید، هموگلوبین، هماتوکریت و جمعیت تفریقی گلبول‌های سفید) و بخش دیگری از خون به داخل لوله‌های عاری از ماده ضد انعقاد به منظور جداسازی سرم خون، جهت اندازه‌گیری عناصر کم‌نیاز، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و هورمون‌های تیروئیدی منتقل شد. تفکیک سرم خون از طریق سانتریفیوژ کردن نمونه‌های خونی فاقد EDTA با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه انجام گردید. نمونه‌های سرم بلافاصله بعد از جداسازی و انتقال به میکروتیوب در فریزر تحت دمای ۲۰- درجه سلسیوس تا زمان ارزیابی پارامترهای مربوطه نگهداری شدند. به منظور شمارش تعداد گلبول‌های قرمز از لام هموسیتمتر استفاده گردید. فراسنجه‌های هماتولوژی و بیوشیمی خون توسط آزمایشگاه رازی شهرستان اراک اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری هموگلوبین با استفاده از کیت شرکت پارس پیوند (دراپکین) به روش رنگ‌سنجی و سیان‌مت‌هموگلوبین انجام گردید. روش انجام مطالعه به این صورت بود که مقدار ۲۰ میکرولیتر خون موجود در لوله‌های محتوی ماده ضد انعقاد خون را در لوله‌های آزمایش ریخته و ۵ میلی لیتر معرف آماده در اپکلین، حاوی پتاسیم فری سیانید، به آن اضافه گردید. هموگلوبین خون با این معرف واکنش داده و به سیان تبدیل می‌گردد. در نهایت جذب محلول توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۴۰ نانومتر قرائت گردید. پس از تهیه گسترش خونی مناسب، شمارش تفریقی لکوسیت‌ها به روش گیمسا انجام گرفت. جهت تعیین هماتوکریت، نمونه‌های خون موجود در لوله‌های موئین با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند و سپس با استفاده از خط‌کش هماتوکریت درصد هماتوکریت تعیین گردید (۲۰).

برای اندازه‌گیری میزان آهن، روی، منگنز و مس در سرم، ۲ میلی لیتر نمونه سرم با ۵ میلی لیتر اسید نیتریک برای تولید خاکستر مرطوب مخلوط شد و سپس تبخیر انجام شد (برای به حداقل رساندن شکل مایع). محلول حاصل از تبخیر پس از سرد شدن در یک فلاسک ۲۵ میلی لیتری فیلتر و با استفاده از آب مقطر تا ۲۵ میلی لیتر رقیق شدند. مقدار آهن، روی، منگنز و مس محلول به دست آمده با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (۹). فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل گلوتاتیون پراکسیداز و سوپراکسید دسموتاز در سرم خون با استفاده از کیت‌های پارس آزمون ساخت ایران و با استفاده از دستگاه اتوآنالایزر (Auto Analyzer)

طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (inductively coupled plasma mass spectrometry, Agilent, 7700 Series, USA) اندازه‌گیری شد و این مقادیر تأیید شد. شرایط محیطی از نظر دما و رطوبت برای تمام تیمارها تا ۲۰ روزگی یکسان بود. برای گروه‌های تنش حرارتی از ۲۱ روزگی تا ۵۰ روزگی، جوجه‌ها از ۱۰ تا ۱۸ تحت محدوده حرارتی ۳۲ تا ۳۴ درجه سلسیوس قرار گرفتند. برنامه واکسیناسیون در همه گروه‌ها مشابه بوده و به این صورت اعمال شد: در یک روزگی واکنس (Merial, France) H120 به روش اسپری، در ۸ روزگی واکنس کشته نیوکاسل آنفلوانزا (Merial, France) به روش تزریق زیر جلدی همراه با (Intervet, Nederland) B1 به روش قطره چشمی و در نهایت در روز ۲۲ روزگی واکنس لاسوتا (Intervet, Nederland) به روش آشامیدنی. آب و خوراک نیز به صورت آزاد در اختیار پرندوها قرار گرفت. برنامه نوردی در سه روز اول دائم و بعد از آن به صورت ۲۳ ساعت روشنایی و ۱ ساعت خاموشی در یک شبانه روز تنظیم گردید.

#### اندازه‌گیری آب مصرفی و عملکرد رشد: چون در مطالعه

حاضر مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز با سطوح از قبل تعیین شده برای هر تیمار در آب آشامیدنی مورد استفاده قرار گرفت، میزان آب مصرفی جوجه‌های گوشتی از ۱ روزگی تا پایان دوره دقیقاً وزن‌کشی شدند و آمارها روزانه به ثبت رسید. برای مصرف کامل مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز در طی روز، مقدار مشخصی آب در آبخوری‌ها به صورت شیب‌دار قرار گرفت تا پرندوها بتوانند همه آب که حاوی مکمل بن‌زا بود به طور کامل در مدت حدود ۸ تا ۱۰ ساعت مصرف کنند. بعد از اطمینان از مصرف کامل آب حاوی مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز، در مابقی ساعات باقیمانده تا پایان ۲۴ ساعت از آب آشامیدنی بدون مکمل استفاده شد. میانگین خوراک مصرفی و افزایش وزن روزانه به صورت گروهی در پایان هر دوره (۱ تا ۱۰، ۱۱ تا ۲۰، ۲۱ تا ۳۰، ۳۱ تا ۴۰ و ۴۱ تا ۵۰ روزگی) اندازه‌گیری شد. ضریب تبدیل غذایی از تقسیم میانگین خوراک مصرفی بر میانگین افزایش وزن جوجه‌ها برای هر دوره محاسبه شد. در طول مطالعه، روزانه و قبل از تخصیص خوراک به هر واحد آزمایشی، تعداد تلفات در هر واحد آزمایشی ثبت و وزن تلفات آن روز یادداشت گردید.

#### اندازه‌گیری فراسنجه‌های خونی: با توجه به اهداف مطالعه

حاضر در روز ۵۰ آزمایش از هر تکرار دو قطعه جوجه به صورت تصادفی انتخاب و خون‌گیری از طریق ورید بال انجام گرفت. دو نمونه

انجام شد. قبل از تزریق، ضخامت پرده میانی انگشت سوم و چهارم در هر دو پای چپ و راست اندازه‌گیری شد. در پای راست ۱۰۰ میکرولیتر محلول فیتوهماگلوآنتینین ۰/۱ درصد و در پای چپ به همان میزان سرم فیزیولوژی به عنوان شاهد تزریق شد. ضخامت پوست هر دو پا ۲۴ ساعت بعد از تزریق مجدداً اندازه‌گیری شد و پاسخ ازدیاد حساسیت تأخیری از طریق محاسبه تفاوت ضخامت پرده میانی انگشت سوم و چهارم پای راست و پای چپ قبل از تزریق و زمان ۲۴ ساعت بعد از تزریق محاسبه شد.

**واکاوی آماری داده‌ها:** تجزیه آماری داده‌ها توسط نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱) و با استفاده از رویه GLM انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح ۵ درصد انجام شد.

Hitachi 717)، ساخت ژاپن اندازه‌گیری شدند. هورمون‌های تیروئیدی شامل T<sub>3</sub> و T<sub>4</sub> توسط روش الایزا و با استفاده از کیت تجاری شرکت پیشتاز طب اندازه‌گیری شدند.

**اندازه‌گیری پاسخ ایمنی:** برای تعیین عیار پادتن علیه ویروس نیوکاسل و برونشیت در سن ۳۵ روزگی دو پرنده از هر تکرار به طور تصادفی انتخاب و از طریق ورید بال خون‌گیری انجام شد. پس از جدا شدن سرم از لخته خون نمونه‌ها، تیترا آنتی‌بادی علیه ویروس نیوکاسل توسط روش HI و تیترا آنتی‌بادی علیه ویروس برونشیت توسط روش الایزا در آزمایشگاه دامپزشکی پاستور شهرستان اراک اندازه‌گیری شد (۳۴). سنجش واکنش پوستی ازدیاد حساسیت بازوفیلی به تزریق فیتوهماگلوآنتینین-P (Sigma, L8754 St, Louis Mo, USA) در سن ۳۴ روزگی با استفاده از دو قطعه پرنده از هر واحد آزمایشی

جدول ۱. مواد خوراکی و ترکیب جیره‌های آزمایشی در دوره‌های مختلف آزمایشی.

۲۴ تا ۴۲ روزگی	۱۱ تا ۲۴ روزگی	۱ تا ۱۰ روزگی	اجزای جیره (درصد)
۶۴/۶۸	۶۰/۴۸	۵۴/۸۴	ذرت
۲۲/۲۵	۲۵/۸۹	۲۳/۴۱	کنجاله سویا (۴۴ درصد پروتئین خام)
۵/۵۲	۶/۶۵	۴/۵۱	کنجاله گلوآنتینین
۳/۵۰	۲/۵	۲/۵	روغن سویا
۱/۳۵	۱/۴۶	۱/۵۸	دی کلسیم فسفات
۱/۱۸	۱/۳۳	۱/۴۸	کرینات کلسیم
۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۲۵	نمک
۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۰۶	جوش شیرین
۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۶	L- ترئونین
۰/۱۲	۰/۲۲	۰/۲۸	DL- متیونین
۰/۴۱	۰/۴۵	۰/۴۳	L- لایزین، هیدروکلرید
۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	مکمل مواد معدنی <sup>۲</sup>
۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	مکمل ویتامینی <sup>۳</sup>
			ترکیب محاسبه شده
۳۲۰۰	۳۱۰۰	۳۰۰۰	انرژی قابل متابولیسم (کیلوکالری/کیلوگرم)
۱۹/۵	۲۱/۵	۲۳	پروتئین خام (درصد)
۰/۷۹	۰/۸۷	۰/۹۶	کلسیم (درصد)
۰/۴۰	۰/۴۴	۰/۴۸	فسفر قابل دسترس (درصد)
۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	سدیم (درصد)
۱/۰۳	۱/۱۵	۱/۲۸	لیزین قابل هضم (درصد)
۰/۸۰	۰/۸۷	۰/۹۵	متیونین + سیستئین قابل هضم (درصد)
۰/۶۹	۰/۷۷	۰/۸۶	ترئونین قابل هضم (درصد)
۲۱۵	۲۳۰	۲۵۰	تعادل الکترولیتی جیره <sup>۴</sup> (میلی‌اکی‌والان/کیلوگرم)

<sup>۱</sup> هر کیلوگرم جیره حاوی مکمل مواد معدنی حاوی: ۱۲۰ میلی‌گرم منگنز، ۱۰۰ میلی‌گرم روی، ۳۰ میلی‌گرم آهن، ۱۵ میلی‌گرم مس، ۱ میلی‌گرم ید و سلنیوم ۰/۳ میلی‌گرم می‌باشد. <sup>۲</sup> هر کیلوگرم جیره حاوی مکمل ویتامینه حاوی: ۹۰۰۰ IU ویتامین A، ۳۵۰۰ IU ویتامین D<sub>3</sub>، ۵۰ میلی‌گرم ویتامین E، ۲/۲ میلی‌گرم ویتامین K<sub>3</sub>، ۱/۸۰ میلی‌گرم ویتامین B<sub>1</sub>، ۶/۶ میلی‌گرم ویتامین B<sub>2</sub>، ۴۰ میلی‌گرم ویتامین B<sub>3</sub>، ۱۵ میلی‌گرم کلسیم دی‌پنتوتنات، ۳ میلی‌گرم ویتامین B<sub>6</sub>، ۱/۶ میلی‌گرم ویتامین B<sub>9</sub>، ۰/۱۵ میلی‌گرم ویتامین B<sub>12</sub> و ۴۵۰ میلی‌گرم کولین کلراید. <sup>۳</sup> تعادل الکترولیتی جیره DEB = (Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup>) - Cl<sup>-</sup>.

جدول ۲. تأثیر تیمارهای آزمایشی بر میزان آب مصرفی و عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی تحت شرایط تنش حرارتی.

تیمارهای آزمایشی							
مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز (CTM) در آب آشامیدنی							
P-value	SEM	سطح بالا	سطح متوسط	سطح پایین	شاهد منفی	شاهد مثبت	
آب مصرفی (میلی لیتر در روز)							
۰/۳۷۱	۱/۹۴	۷۲/۵	۶۹/۴	۶۸/۰	۷۱/۹	۷۲/۲	۱ تا ۱۰ روزگی
۰/۴۲۶	۳/۸۹	۱۴۸/۴	۱۵۲/۷	۱۴۷/۶	۱۵۳/۰	۱۴۹/۴	۱۱ تا ۲۰ روزگی
۰/۰۰۷	۶/۴۸	۲۵۹/۶ <sup>a</sup>	۲۶۴/۴ <sup>a</sup>	۲۷۳/۵ <sup>a</sup>	۲۶۸/۷ <sup>a</sup>	۲۴۰/۹ <sup>b</sup>	۲۱ تا ۳۰ روزگی
<۰/۰۰۱	۱۲/۱۲	۴۲۰/۴ <sup>a</sup>	۴۳۳/۰ <sup>a</sup>	۴۱۹/۳ <sup>a</sup>	۴۲۸/۴ <sup>a</sup>	۳۶۵/۴ <sup>b</sup>	۳۱ تا ۴۰ روزگی
<۰/۰۰۱	۱۹/۲۰	۴۹۷/۶ <sup>a</sup>	۵۰۸/۳ <sup>a</sup>	۵۲۲/۳ <sup>a</sup>	۵۱۹/۳ <sup>a</sup>	۴۳۶/۱ <sup>b</sup>	۴۱ تا ۵۰ روزگی
<۰/۰۰۱	۷/۷۳	۲۷۹/۸ <sup>a</sup>	۲۸۵/۵ <sup>a</sup>	۲۸۶/۳ <sup>a</sup>	۲۸۸/۴ <sup>a</sup>	۲۵۲/۶ <sup>b</sup>	۱ تا ۵۰ روزگی
افزایش وزن (گرم در روز)							
۰/۳۰۴	۰/۳۵۸	۲۰/۷۹	۱۹/۸۹	۲۰/۲۶	۲۰/۳۰	۲۰/۲۱	۱ تا ۱۰ روزگی
۰/۱۴۴	۰/۵۴۸	۴۰/۸۹	۳۹/۶۷	۴۱/۰۲	۴۱/۷۹	۴۱/۰۰	۱۱ تا ۲۰ روزگی
۰/۰۰۴	۱/۰۵	۶۴/۹۹ <sup>ab</sup>	۶۶/۲۳ <sup>a</sup>	۶۰/۹۳ <sup>c</sup>	۶۲/۳۲ <sup>bc</sup>	۶۷/۰۴ <sup>a</sup>	۲۱ تا ۳۰ روزگی
<۰/۰۰۱	۰/۹۷۸	۷۶/۱۸ <sup>c</sup>	۸۰/۲۶ <sup>b</sup>	۷۷/۷۰ <sup>bc</sup>	۷۶/۹۴ <sup>c</sup>	۸۴/۶۹ <sup>a</sup>	۳۱ تا ۴۰ روزگی
۰/۰۵۸	۱/۷۳	۸۸/۰۲	۸۹/۸۶	۸۶/۶۵	۸۴/۶۳	۹۱/۶۷	۴۱ تا ۵۰ روزگی
<۰/۰۰۱	۰/۴۶۶	۵۸/۱۹ <sup>bc</sup>	۵۹/۲۳ <sup>b</sup>	۵۷/۵۶ <sup>c</sup>	۵۷/۴۹ <sup>c</sup>	۶۰/۹۴ <sup>a</sup>	۱ تا ۵۰ روزگی
خوراک مصرفی (گرم در روز)							
۰/۲۵۵	۰/۶۷۹	۲۸/۲۰	۲۶/۳۰	۲۶/۸۷	۲۸/۱۸	۲۷/۴۷	۱ تا ۱۰ روزگی
۰/۹۲۲	۱/۱۳	۶۴/۳۸	۶۴/۶۰	۶۵/۲۲	۶۴/۸۶	۶۵/۷۱	۱۱ تا ۲۰ روزگی
۰/۰۲۸	۱/۲۰	۱۰۷/۴ <sup>ab</sup>	۱۰۳/۹ <sup>b</sup>	۱۰۶/۰ <sup>b</sup>	۱۰۸/۴ <sup>ab</sup>	۱۱۰/۰ <sup>a</sup>	۲۱ تا ۳۰ روزگی
۰/۰۰۸	۱/۹۸	۱۴۶/۳ <sup>b</sup>	۱۴۱/۳ <sup>b</sup>	۱۴۰/۸ <sup>b</sup>	۱۴۴/۸ <sup>b</sup>	۱۵۲/۶ <sup>a</sup>	۳۱ تا ۴۰ روزگی
۰/۰۶۹	۴/۳۳	۱۷۳/۵	۱۷۴/۶	۱۷۲/۱	۱۷۵/۵	۱۹۰/۴	۴۱ تا ۵۰ روزگی
۰/۰۰۲	۰/۸۱۹	۱۰۴/۱ <sup>b</sup>	۱۰۲/۸ <sup>b</sup>	۱۰۲/۴ <sup>b</sup>	۱۰۴/۴ <sup>b</sup>	۱۰۸/۳ <sup>a</sup>	۱ تا ۵۰ روزگی
ضریب تبدیل غذایی (گرم:گرم)							
۰/۸۴۸	۰/۰۴۵	۱/۳۵	۱/۳۳	۱/۳۳	۱/۳۹	۱/۳۶	۱ تا ۱۰ روزگی
۰/۷۱۰	۰/۰۳۶	۱/۵۸	۱/۶۲	۱/۵۹	۱/۵۵	۱/۶۰	۱۱ تا ۲۰ روزگی
۰/۰۲۰	۰/۰۳۷	۱/۶۶ <sup>ab</sup>	۱/۵۷ <sup>b</sup>	۱/۷۴ <sup>a</sup>	۱/۷۴ <sup>a</sup>	۱/۶۴ <sup>ab</sup>	۲۱ تا ۳۰ روزگی
۰/۰۰۲	۰/۰۲۴	۱/۹۳ <sup>a</sup>	۱/۷۶ <sup>c</sup>	۱/۸۱ <sup>bc</sup>	۱/۸۸ <sup>ab</sup>	۱/۸۰ <sup>c</sup>	۳۱ تا ۴۰ روزگی
۰/۱۳۹	۰/۰۵۸	۱/۹۸	۱/۹۴	۱/۹۹	۲/۰۷	۲/۰۸	۴۱ تا ۵۰ روزگی
۰/۱۳۱	۰/۰۵۶	۱/۷۹	۱/۷۳	۱/۷۸	۱/۸۲	۱/۷۸	۱ تا ۵۰ روزگی
یکنواختی گله (درصد)							
۰/۱۶۴	۱/۲۵	۸۹/۲۷	۸۶/۲۳	۸۸/۵۹	۸۹/۴۶	۸۵/۸۳	۱۰ روزگی
۰/۰۱۸	۱/۴۷	۸۴/۷۳ <sup>b</sup>	۸۹/۴۱ <sup>a</sup>	۸۷/۶۰ <sup>ab</sup>	۸۳/۷۵ <sup>b</sup>	۹۰/۷۷ <sup>a</sup>	۳۰ روزگی
۰/۰۴۹	۱/۶۷	۸۵/۶۶ <sup>ab</sup>	۸۷/۲۴ <sup>a</sup>	۸۴/۱۵ <sup>ab</sup>	۸۱/۷۴ <sup>b</sup>	۸۹/۴۶ <sup>a</sup>	۴۰ روزگی
تلفات ۱ تا ۵۰ روزگی (درصد)							
۰/۰۵۰	۱/۴۵	۶/۲۵ <sup>ab</sup>	۲/۰۸ <sup>b</sup>	۴/۱۷ <sup>ab</sup>	۸/۳۳ <sup>a</sup>	۲/۰۸ <sup>b</sup>	

- حروف غیر مشابه در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری در سطح ۰/۰۵ است.

## نتایج

**عملکرد رشد:** اثرات سطوح مختلف مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز بر میانگین آب مصرفی روزانه و عملکرد رشد در جوجه‌های گوشتی تحت شرایط تنش حرارتی در **جدول ۲** نشان داده شده است. در مورد آب مصرفی تا ۲۰ روزگی تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های آزمایشی مشاهده نشد. در مقابل، طی دوره‌های ۲۱ تا ۳۰، ۳۱ تا ۴۰، ۴۰ تا ۵۰ روزگی و همچنین در کل دوره آزمایشی (۱ تا ۵۰ روزگی) همه

تیمارهای در معرض تنش حرارتی نسبت به تیمار شاهد مثبت (دمای نرمال محیطی با دمای ۲۴ درجه سلسیوس از روز ۲۱ تا پایان دوره) افزایش معنی‌داری در میزان آب مصرفی نشان دادند ( $P < 0/05$ ). اگرچه تا ۲۰ روزگی تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی از نظر میانگین افزایش وزن روزانه وجود نداشت، میانگین افزایش وزن در دوره ۲۱ تا ۳۰ روزگی در تیمارهای شاهد مثبت و CTM بالاتر از تیمارهای CTM کم و شاهد منفی بود ( $P < 0/05$ ). در مورد افزایش وزن روزانه در دوره‌های ۳۱ تا ۴۰ روزگی و همچنین کل دوره آزمایشی (۱ تا ۵۰

معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی مشاهده نشد. در مقابل، در روزهای ۳۰ و ۴۰ روزگی بالاترین میزان یکنواختی در تیمارهای شاهد مثبت و CTM متوسط و کمترین میزان یکنواختی در تیمار شاهد منفی مشاهده شد ( $P < 0.05$ ). همچنین در کل دوره آزمایشی (۱ تا ۵۰ روزگی)، تیمارهای شاهد مثبت و CTM متوسط موجب کاهش نرخ تلفات در مقایسه با تیمار شاهد منفی گردید ( $P < 0.05$ ).

#### فراسنجه‌های خونی: اثرات سطوح مختلف مکمل کلاته عناصر

کم نیاز بر هماتولوژی و جمعیت تفریقی گلبول‌های سفید خون در جوجه‌های گوشتی تحت شرایط تنش حرارتی در جدول ۳ نشان داده شده است. فراسنجه‌های هماتولوژی خون شامل تعداد گلبول قرمز، گلبول سفید، میزان هموگلوبین، درصد هماتوکریت، تعداد ترومبوسیت و همچنین شاخص‌های گلبول قرمز (MCV، MCH، MCHC) تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت. در مقابل، درصد لنفوسیت خون تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت و همه تیمارها نسبت به تیمار شاهد منفی افزایش معنی‌دار لنفوسیت خون را نشان دادند ( $P < 0.05$ ). همچنین افزودن سطح متوسط و بالای مکمل کلاته به آب آشامیدنی (تیمارهای CTM متوسط و CTM بالا) در جوجه‌های پرورش یافته در شرایط تنش حرارتی مشابه تیمار شاهد مثبت سبب کاهش میزان هتروفیل ( $P < 0.05$ ) و نسبت هتروفیل به لنفوسیت ( $P < 0.05$ ) در مقایسه با تیمار شاهد منفی شدند.

روزگی)، بیشترین افزایش وزن در تیمار شاهد مثبت مشاهده شد ( $P < 0.05$ )، که نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌دار نشان داد. در دوره ۳۱ تا ۴۰ روزگی، میانگین افزایش وزن بالاتر در تیمار CTM متوسط در مقایسه با تیمارهای شاهد منفی و CTM بالا مشاهده شد ( $P < 0.05$ ). در کل دوره آزمایشی (۱ تا ۵۰ روزگی) نیز تیمار CTM متوسط در مقایسه با تیمارهای شاهد منفی و CTM پایین میانگین افزایش وزن بالاتری داشت ( $P < 0.05$ ). در بررسی نتایج مربوط به خوراک مصرفی، اختلاف معنی‌داری بین دوره‌های ۱ تا ۱۰، ۱۱ تا ۲۰ و ۲۱ تا ۳۰ روزگی در بین تیمارها مشاهده نشد. در مقابل، در دوره ۲۱ تا ۳۰ روزگی، تیمارهای CTM کم و CTM متوسط سبب کاهش معنی‌دار خوراک مصرفی نسبت به تیمار شاهد مثبت شدند ( $P < 0.05$ ). در دوره‌های ۳۱ تا ۴۰ روزگی و همچنین کل دوره آزمایشی، همه تیمارهای آزمایشی در شرایط تنش حرارتی کاهش مصرف خوراک را نسبت به تیمار شاهد مثبت نشان دادند ( $P < 0.05$ ). در بررسی اثرات مکمل کلاته بر ضریب تبدیل غذایی (جدول ۲)، در دوره ۲۱ تا ۳۰ روزگی، کمترین ضریب تبدیل غذایی مربوط به تیمار CTM متوسط بود که با تیمارهای شاهد منفی و CTM پایین تفاوت معنی‌داری نشان داد ( $P < 0.05$ ). همچنین در دوره ۳۱ تا ۴۰ روزگی، ضریب تبدیل غذایی در تیمارهای شاهد مثبت و CTM متوسط پایین‌تر از تیمارهای شاهد منفی و CTM بالا ولی مشابه تیمار CTM کم بودند ( $P < 0.05$ ). در مورد یکنواختی گله، در ۱۰ روزگی تفاوت

جدول ۳. تأثیر تیمارهای آزمایشی بر فراسنجه‌های هماتولوژی و جمعیت تفریقی گلبول‌های سفید در جوجه‌های گوشتی تحت شرایط تنش حرارتی.

تیمارهای آزمایشی							
مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز (CTM)							
P-value	SEM	سطح بالا	سطح متوسط	سطح پایین	شاهد منفی	شاهد مثبت	واحد
۰/۷۸۹	۰/۰۷۲	۲/۲۲	۲/۱۰	۲/۱۴	۲/۱۱	۲/۱۶	۱۰ <sup>۶</sup> /میکرولیتر
۰/۴۴۷	۱/۶۱	۱۹/۹۷	۲۱/۱۰	۲۴/۲۳	۲۲/۲۰	۲۱/۳۵	۱۰ <sup>۳</sup> /میکرولیتر
۰/۵۶۷	۰/۴۷۰	۱۶/۱۰	۱۶/۰۳	۱۶/۲۰	۱۵/۴۳	۱۶/۵۷	گرم/دسی‌لیتر
۰/۴۸۹	۰/۷۰۸	۳۱/۴۷	۳۱/۹۳	۳۲/۲۰	۳۲/۳۷	۳۲/۸۰	درصد
۰/۲۴۴	۱/۴۵	۴۳/۳۳	۴۷/۶۷	۴۵/۰۰	۴۶/۰۰	۴۴/۰۰	۱۰ <sup>۳</sup> /میکرولیتر
۰/۴۹۳	۵/۱۲	۱۴۴/۱	۱۵۶/۴	۱۴۷/۹	۱۵۳/۶	۱۴۹/۵	فمتولتر
۰/۸۴۴	۳/۳۴	۷۲/۸۶	۷۶/۳۶	۷۶/۴۳	۷۳/۱۳	۷۶/۸۴	پیکوگرم
۰/۷۰۹	۲/۲۳	۵۰/۷۰	۴۹/۰۸	۵۱/۵۸	۴۷/۷۸	۵۱/۴۳	گرم/دسی‌لیتر
جمعیت تفریقی گلبول‌های سفید							
۰/۰۲۱	۱/۷۴	۷۴/۲۵ <sup>a</sup>	۷۴/۵۰ <sup>a</sup>	۷۱/۷۵ <sup>a</sup>	۶۶/۲۵ <sup>b</sup>	۷۴/۰۰ <sup>a</sup>	درصد
۰/۰۳۷	۱/۲۲	۱۷/۵۰ <sup>b</sup>	۱۶/۵۰ <sup>b</sup>	۲۰/۳۵ <sup>ab</sup>	۲۲/۰۰ <sup>a</sup>	۱۸/۰۰ <sup>b</sup>	درصد
۰/۰۱۶	۰/۰۲۱	۰/۳۳۸ <sup>b</sup>	۰/۳۲۳ <sup>b</sup>	۰/۳۸۶ <sup>ab</sup>	۰/۳۳۳ <sup>a</sup>	۰/۳۴۳ <sup>b</sup>	هتروفیل / لنفوسیت
۰/۶۵۰	۰/۹۶۲	۴/۰۰	۵/۰۰	۴/۲۵	۵/۷۵	۴/۰۰	درصد
۰/۱۶۲	۰/۳۲۹	۲/۲۵	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۷۵	۱/۵۰	درصد
۰/۶۵۰	۰/۴۱۳	۲/۰۰	۲/۰۰	۱/۷۵	۳/۲۵	۳/۲۵	درصد

- حروف غیر مشابه در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری در سطح ۰/۰۵ است.



T<sub>3</sub> خون نسبت به تیمار شاهد مثبت شدند ( $P < 0/05$ ). همچنین کاهش معنی‌دار غلظت هورمون T<sub>4</sub> در تیمارهای شاهد منفی و CTM کم نسبت به تیمار شاهد مثبت مشاهده شد ( $P < 0/05$ ).

#### پاسخ آنتی‌بادی: نتایج مربوط به میانگین شاخص تورم

پوست پرده پا در پاسخ به تزریق فیتوهماگلوتنین و عیار پادتن علیه واکسن بیماری نیوکاسل (روش HI) و واکسن برونشیت عفونی (روش الایزا) در ۲۷ روزگی در گروه‌های مختلف آزمایشی در **جدول ۵** ارائه شده است. هیچ یک از تیمارها تأثیر معنی‌داری بر عیار پادتن علیه واکسن برونشیت عفونی و شاخص تورم پوست پرده پا در پاسخ به تزریق فیتوهماگلوتنین (ضخامت پرده پا بعد از تزریق PHA) نداشتند. در مقابل، افزودن سطح متوسط و بالای مکمل کلاته معدنی به آب آشامیدنی جوجه‌های پرورش یافته در شرایط تنش حرارتی مشابه تیمار شاهد مثبت سبب افزایش معنی‌داری عیار پادتن علیه واکسن بیماری نیوکاسل در مقایسه با تیمار شاهد منفی و سطح کم مکمل کلاته شد ( $P < 0/05$ ).

اثرات سطوح مختلف مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز بر غلظت عناصر کم‌نیاز، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و سطح هورمون‌های تیروئیدی سرم خون در جوجه‌های گوشتی تحت شرایط تنش حرارتی در **جدول ۴** نشان داده شده است. هیچ یک از تیمارها اثر معنی‌داری بر غلظت مس و منگنز خون نداشتند. در مقابل، یک تمایل به افزایش آهن خون در تیمارهای حاوی مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز نسبت به تیمار شاهد منفی مشاهده شد ( $P < 0/05$ ). همچنین تیمار CTM بالا موجب افزایش غلظت روی خون در مقایسه با تیمارهای شاهد مثبت، شاهد منفی و CTM کم گردید ( $P < 0/05$ ). افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز خون در تیمار CTM بالا نسبت به تیمارهای شاهد منفی و CTM کم مشاهده شد ( $P < 0/05$ ). همه تیمارهای آزمایشی تحت شرایط تنش حرارتی موجب کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز خون نسبت به تیمار شاهد مثبت گردید ( $P < 0/05$ ). همه تیمارهای آزمایشی تحت شرایط تنش حرارتی به‌استثنای تیمار CTM بالا موجب کاهش غلظت

**جدول ۴.** تأثیر تیمارهای آزمایشی بر عناصر کم‌نیاز، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و هورمون‌های تیروئیدی سرم خون در جوجه‌های گوشتی تحت شرایط تنش حرارتی.

تیمارهای آزمایشی								
مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز (CTM)								
P-value	SEM	سطح بالا	سطح متوسط	سطح پایین	شاهد منفی	شاهد مثبت	واحد	فراسنجه‌های خونی
0/052	3/53	100/67	90/00	91/33	84/00	88/50	میکروگرم/دسی‌لیتر	آهن
0/264	1/23	24/00	21/00	22/00	20/00	21/50	میکروگرم/دسی‌لیتر	مس
0/005	2/87	99/00 <sup>a</sup>	92/00 <sup>ab</sup>	80/67 <sup>c</sup>	85/00 <sup>bc</sup>	87/50 <sup>bc</sup>	میکروگرم/دسی‌لیتر	روی
0/187	0/24	2/95	2/83	2/51	2/33	2/45	میکروگرم/دسی‌لیتر	منگنز
0/047	5/26	212/7 <sup>a</sup>	206/7 <sup>ab</sup>	193/7 <sup>b</sup>	191/5 <sup>b</sup>	207/5 <sup>ab</sup>	واحد/میلی‌لیتر	سوپر اکسید دیسموتاز
0/015	231/7	4627 <sup>b</sup>	5035 <sup>b</sup>	4667 <sup>b</sup>	5022 <sup>b</sup>	5834 <sup>a</sup>	واحد/میلی‌لیتر	گلوکاتایون پراکسیداز
0/029	0/147	2/70 <sup>ab</sup>	2/43 <sup>b</sup>	2/38 <sup>b</sup>	2/25 <sup>b</sup>	2/95 <sup>a</sup>	نانوگرم/میلی‌لیتر	تری‌یدوتیرونین (T <sub>3</sub> )
0/010	0/365	7/30 <sup>ab</sup>	6/75 <sup>ab</sup>	6/50 <sup>b</sup>	6/60 <sup>b</sup>	7/63 <sup>a</sup>	نانوگرم/میلی‌لیتر	تترا‌یدوتیرونین (T <sub>4</sub> )

- حروف غیر مشابه در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری در سطح 0/05 است.

**جدول ۵.** تأثیر تیمارهای آزمایشی بر میانگین شاخص تورم پوست پرده پا در پاسخ به تزریق فیتوهماگلوتنین-P و عیار پادتن علیه واکسن بیماری نیوکاسل (روش HI) و واکسن برونشیت عفونی (روش الایزا) در ۳۵ روزگی در جوجه‌های گوشتی تحت شرایط تنش حرارتی.

تیمارهای آزمایشی						
مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز (CTM)						
P-value	SEM	سطح بالا	سطح متوسط	سطح پایین	شاهد منفی	شاهد مثبت
0/005	0/296	1/98 <sup>a</sup>	2/31 <sup>a</sup>	1/00 <sup>b</sup>	0/89 <sup>b</sup>	2/36 <sup>a</sup>
0/147	0/082	3/68	3/52	3/62	3/78	3/80
0/453	0/126	0/925	0/753	0/723	0/876	1/024

- حروف غیر مشابه در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری در سطح 0/05 است.

## بحث

در ضریب تبدیل غذایی کل دوره نسبت به تیمار شاهد منفی (شرایط تنش حرارتی) گردید. در مطالعه Bahakaim و همکاران در سال ۲۰۱۴ افزودن مکمل آلی روی به جیره غذایی مرغ‌های تخم‌گذار به جای منبع غیرآلی سبب افزایش انرژی قابل متابولیسم شد (۴). Nollet و همکاران نیز در سال ۲۰۰۷ گزارش کردند استفاده از مواد معدنی آلی به عنوان جایگزین مواد معدنی غیرآلی می‌تواند سبب بهبود ضریب تبدیل غذایی در جوجه‌های گوشتی جوان گردد (۲۶). به نظر می‌رسد با توجه به شرایط تنش حرارتی در مطالعه حاضر افزودن مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز افزون بر سطح توصیه شده در جیره غذایی می‌تواند در مقاومت پرند به شرایط تنش حرارتی مؤثر باشد.

در مطالعه حاضر افزودن سطح متوسط مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز به آب آشامیدنی جوجه‌های گوشتی پرورش یافته در شرایط تنش حرارتی سبب کاهش تلفات و افزایش یکنواختی گله مشابه گروه شاهد مثبت گردید. به طور مشابه، مصرف مکمل کلاته روی و منگنز باند شده با اسیدهای آمینه در جیره مرغ مادر گوشتی در طول دوره تخم‌گذاری موجب کاهش تلفات جوجه‌های گوشتی در روزهای اول دوره پرورش شد (۳۸). Hudson و همکاران در سال ۲۰۰۴ گزارش کردند زمانی که مرغ مادر گوشتی با مکمل روی باند شده با اسید آمینه به تنهایی یا ترکیب با سولفات روی تغذیه شد، مقاومت جوجه‌های هچ شده در برابر بیماری بهبود یافت (۱۸). به نظر می‌رسد در مطالعه حاضر بهبود سیستم ایمنی و همچنین افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در گروه سطح متوسط مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز نسبت به گروه شاهد منفی در کاهش نرخ تلفات در این گروه مؤثر باشد.

در شرایط تنش گرمایی میزان هتروفیل‌ها و نسبت هتروفیل به لنفوسیت افزایش می‌یابد که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. مطالعه حاضر مقادیر لکوسیت‌ها و به خصوص نسبت هتروفیل به لنفوسیت به عنوان یک معیار دقیق تعیین کننده در تنش گرمایی و سرمایی در طیور حائز اهمیت است (۲۳). در مطالعات قبلی گزارش شد که تنش گرمایی موجب افزایش نسبت هتروفیل به لنفوسیت می‌شود (۲، ۱۳). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که افزودن مکمل کلاته به آب آشامیدنی در سطح متوسط و بالا به جیره جوجه‌های گوشتی توانست سبب افزایش مقاومت پرند به شرایط تنش حرارتی از طریق کاهش نسبت هتروفیل به لنفوسیت گردد که از این نظر قابل قیاس با گروه شاهد مثبت بود. به طور مشابه

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که همه گروه‌های تحت تنش گرمایی مصرف خوراک پایین‌تری نسبت به گروه شاهد مثبت نشان دادند. در مطالعات انجام گرفته تحت تنش حرارتی گزارش شده است که مصرف دان در جوجه‌های گوشتی در شرایط محیطی گرم، کاهش می‌یابد که این وضعیت بخشی از سازگاری فیزیولوژیکی پرند در شرایط تنش گرمایی است (۲، ۱۳). از آنجا که مصرف کمتر مواد مغذی، به معنی تولید حرارت بدنی کمتر است، بنابراین با وجود کند شدن سرعت رشد، به دلیل کاهش نیاز پرند به از دست دادن گرما، تحمل شرایط گرمایی آسان‌تر می‌شود. Poosuwan و همکاران در سال ۲۰۰۹ گزارش کردند که قابلیت هضم نشاسته، پروتئین و چربی‌ها در جوجه‌های گوشتی در شرایط تنش حرارتی کاهش می‌یابد (۲۸)، که می‌تواند از عوامل مؤثر بر کاهش راندمان مصرف خوراک و متعاقب آن کاهش نرخ رشد باشد. در مطالعه Sohail و همکاران در سال ۲۰۱۲ جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی مزمین به طور قابل توجهی کاهش مصرف خوراک (تا ۱۶/۴ درصد)، وزن پایین‌تر (تا ۳۲/۶ درصد) و ضریب تبدیل خوراک بالاتر (۲۵/۶ درصد) را در ۴۲ روزگی نشان دادند (۳۵). با توجه به نتایج مطالعه حاضر افزودن مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز در آب آشامیدنی تأثیر مثبتی در افزایش خوراک مصرفی نشان نداد، اما نسبت به تیمار شاهد منفی (شرایط تنش گرمایی) به خصوص در سطح متوسط موجب بهبود افزایش وزن روزانه گردید؛ اگرچه نتوانست به میزان افزایش وزن روزانه در تیمار شاهد مثبت برسد. بررسی یک مطالعه نشان داد که استفاده از سطح بالاتر کیلات‌های اسید آمینه گلیسین روی (۹۰-۱۲۰ ppm) در جیره‌های غذایی جوجه‌های گوشتی نسبت به جیره حاوی سولفات روی، سبب بهتر شدن عملکرد رشد گردید (۱۱). Maggini و همکاران در سال ۲۰۰۷ گزارش کردند که سطح بهینه مواد معدنی در جیره‌های غذایی برای پاسخ‌های تأثیرگذار و قوی ایمنی در برابر پاتوژن‌ها و تنش‌های محیطی بسیار مهم است (۲۲). در مطالعات انجام شده توسط Seyfori و همکاران در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ افزودن مکمل مواد معدنی به جیره ضمن جلوگیری از کمبود این مواد، به پرند برای رسیدن به پتانسیل رشد ژنتیکی کمک می‌کند (۳۱، ۳۲). در مطالعه حاضر اگرچه تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی در مورد ضریب تبدیل غذایی مشاهده نشد اما استفاده از سطح متوسط کلات معدنی سبب بهبود ۵/۲ درصدی



مکمل کردن جیره غذایی با کلات‌های روی و منگنز، هنگامی که مواد معدنی جیره غیر آلی بودند، منجر به بهبود ایمنی و کاهش شاخص‌های تنش در بوقلمون گردید (۱۲).

گزارش شده است که غلظت مواد معدنی در خون، شاخص مناسبی برای اندازه‌گیری زیست‌فراهمی مواد معدنی محسوب می‌شود (۳۲،۴۰). مشابه با یافته‌های مطالعه حاضر، روی آلی در جیره جوجه‌های گوشتی (۳۰) و مس آلی در جیره مرغ‌های تخم‌گذار (۸)، باعث افزایش غلظت این مواد معدنی در خون گردید. همچنین Shinde و همکاران در سال ۲۰۱۱ گزارش کردند زیست‌فراهمی مکمل کلاته متیونین آهن در مقایسه با سولفات آهن بالاتر بوده و سبب افزایش غلظت آهن خون می‌گردد (۳۳)، که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد.

گلوپروتئین پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز به عنوان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان اصلی می‌باشند زیرا آن‌ها در تنظیم مستقیم گونه‌های فعال اکسیژن نقش دارند. آنزیم گلوپروتئین پراکسیداز با استفاده از کوآنزیم گلوپروتئین، پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ ) را تبدیل به آب می‌کند و آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نقش کلیدی در از بین بردن رادیکال‌های آزاد در سلول‌های مصرف‌کننده اکسیژن ایفا می‌کند (۱۴،۲۱). برای کاهش اثرات منفی تنش حرارتی، بدن سنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند گلوپروتئین پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز را افزایش می‌دهد و در نتیجه پراکسیداسیون لیپیدها را برای محافظت سلول‌ها در برابر تنش اکسیداتیو کاهش می‌دهد (۱۷). در واقع، سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی اجزای سلولی را در مقابل آسیب‌های ناشی از رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کند (۱۹). در یک مطالعه استفاده از مواد معدنی آلی در جیره‌های غذایی موجب بهبود شرایط فیزیولوژیکی پرنده و کاهش اکسیداسیون چربی‌ها گردید (۶). همچنین در مطالعه‌ای دیگر استفاده از سطوح بالای ترکیبات آلی روی در جیره غذایی جوجه‌ها باعث بهبود عملکرد آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و گلوپروتئین پراکسیداز و کاهش محتوی مالون‌دی‌آلدئید در کبد گردید (۲۱). در یک مطالعه در شترمرغ توسط Seyfori و همکاران در سال ۲۰۱۸ افزودن مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز به آب آشامیدنی سبب بهبود فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز گردید (۳۲). روی، مس و منگنز مواد معدنی ضروری هستند که از جمله مهم‌ترین عوامل در فعالیت سوپراکسید دیسموتاز محسوب می‌شوند و از این رو در کاهش اثر مضر رادیکال‌های آزاد ناشی از تنش اکسیداتیو مؤثر هستند (۱).

Ghasemi و همکاران در سال ۲۰۲۰ گزارش کردند که فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در مقابل تنش اکسیداتیو تنها در صورت وجود مقادیر کافی این کوفاکتورها مؤثر است (۱۴). با توجه به این‌که بالاترین غلظت روی در سرم خون در تیمار سطح بالای CTM مشاهده شد، بنابراین افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در مطالعه حاضر در تیمار سطح بالای مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز می‌تواند مرتبط با فراهم شدن بیشتر این عنصر برای فعالیت آنتی‌اکسیدانی باشد.

هورمون‌های  $T_3$  و  $T_4$  پلاسمای فاکتورهای مؤثر در رشد حیوانات بوده که به دمای محیط وابسته هستند به طوری که غلظت این هورمون‌ها در دمای بالا کاهش می‌یابد (۳۶). Amiri و همکاران در سال ۲۰۱۹ گزارش کردند غلظت تیروکسین یا  $T_4$  در جوجه‌های گوشتی وقتی در معرض دمای ۳۲ تا ۳۳ درجه سلسیوس به مدت ۸ ساعت قرار گرفتند کاهش یافت، اما تغییری در غلظت  $T_3$  ایجاد نشد (۲). گزارش شده است که افزایش غلظت هورمون‌های تنش‌ناشی نظیر کورتیکوسترون و کورتیزول در نتیجه تنش حرارتی در پرندگان می‌تواند سبب کاهش غلظت هورمون‌های تیروئیدی گردد، زیرا افزایش غلظت هورمون‌های قشر آدرنال مسئول فعالیت کم کاری تیروئید محسوب می‌شوند (۳۵). در مورد تأثیر منابع آلی مواد معدنی کم‌نیاز بر متابولیسم غده تیروئید در طیور در شرایط تنش حرارتی مطالعه‌ای صورت گرفته است. نتایج مطالعه نشان داد که افزودن مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز به آب آشامیدنی تأثیر معنی‌داری بر غلظت این هورمون‌ها در شرایط تنش حرارتی نداشت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت این مکمل تأثیری روی متابولیسم غده تیروئید در شرایط تنش حرارتی ندارد.

در تطابق با نتایج مطالعه حاضر، هنگامی که جوجه‌ها در معرض دمای بین  $32/2$  تا  $43$  درجه سلسیوس برای دوره‌های کوتاه و به صورت متناوب با دمای ثابت یا دمای چرخشی قرار گرفتند، پاسخ آنتی‌بادی به SRBC به طور معنی‌داری کاهش یافت (۲۹). مکانیسمی که از طریق آن دمای محیطی ممکن است به عنوان یک سرکوب‌کننده ایمنی عمل کند به طور کامل شناخته نشده است. اگرچه افزایش فعالیت غده آدرنال به واسطه تنش، سطح کورتیکوستروئید سرم را افزایش می‌دهد که موجب مهار فاکتور نفوذپذیری یا اینترلوکین-۲ می‌شود (۱۳). پاسخ ایمنی توسط سیستم عصبی مرکزی به وسیله یک شبکه پیچیده که بین سیستم عصبی، غدد درون‌ریز و سیستم ایمنی بدن عمل می‌کند، متمرکز می‌شود. محورهای هیپوتالاموس-هیپوفیز-آدرنال (HPA) و

افزایش سطح آنتی‌بادی مادری در نتایج و همچنین افزایش پاسخ آنتی‌بادی بر علیه واکسن نیوکاسل گردید (۲۷).

به طور کلی، یافته‌های مطالعه حاضر نشان می‌دهد که اگرچه استفاده از سطح متوسط مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز در آب آشامیدنی افزون بر مقادیر توصیه شده آن‌ها در جیره غذایی توانست سبب بهبود عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی در شرایط تنش حرارتی شود اما این بهبود مشابه عملکرد رشد در گروه پرورش یافته در شرایط نرمال محیطی نبود. در مقابل، استفاده از سطح متوسط مکمل کلاته عناصر کم‌نیاز در شرایط تنش حرارتی موجب افزایش میزان یکنواختی گله، کاهش میزان تلفات، بهبود پاسخ ایمنی خونی و کاهش نسبت هتروفیل به لنفوسیت گردید که از این نظر مشابه گروه شاهد مثبت (گروه پرورش یافته تحت شرایط نرمال محیطی) بود.

### سیاسگزاری

هزینه و امکانات مورد استفاده در مطالعه حاضر از محل اعتبارات دانشگاه اراک در جهت حمایت از پایان نامه دانشجویان کارشناسی ارشد تأمین شده است که بدین وسیله نگارندگان مراتب قدردانی خود را ابراز می‌دارند. همچنین از واحد تحقیقات و توسعه شرکت دانش بنیان صدور احراز شرق بابت حمایت در این پروژه تشکر می‌گردد.

### تعارض منافع

بین نویسندگان تعارض در منافع گزارش نشده است.

سمپاتیک-آدرنال-مدولار (SAM) مسیرهای اصلی عصبی و غدد درون‌ریز را برای کنترل عملکرد سیستم ایمنی شامل می‌شوند. نشان داده شده است که لنفوسیت‌ها، مونوسیت‌ها یا ماکروفاژها و گرانولوسیت‌ها می‌توانند تغییرات سلولی، تکثیر و ترشح سیتوکین، تولید آنتی‌بادی و فعالیت سیتولیتیک را برای بسیاری از محصولات نوروآندوکراین محورهای HPA و SAM، از قبیل کورتیزول و کاتکول‌آمین‌ها تحت تأثیر قرار دهند (۷). در مطالعه حاضر افزودن مکمل کلاته معدنی افزون بر نیاز جوجه‌های گوشتی در شرایط تنش حرارتی سبب بهبود وضعیت ایمنی از طریق افزایش پاسخ ایمنی علیه بیماری نیوکاسل گردید. Aksu و همکاران در سال ۲۰۱۰ گزارش کردند که نیاز طیور پرتولید تخم‌گذار و گوشتی به عناصر کم‌نیاز به دلیل نقش و اهمیت این عناصر در فرآیندهای ایمنی بسیار بالا می‌باشد (۱). در مطالعه Smith و Bartlett در سال ۲۰۰۳ تنش گرمایی سبب کاهش در وزن اندام‌های لنفوییدی و پاسخ آنتی‌بادی اولیه و ثانویه در جوجه‌های گوشتی شد که این اثرات منفی با افزایش سطح مکمل روی (۱۸۱ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره) نسبت به سطح کم (۳۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) و سطح متوسط (۶۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) برطرف شد (۵). در مطالعه Hudson و همکاران در سال ۲۰۰۴ زمانی که مرغ مادر گوشتی با مکمل روی باند شده با اسید آمینه به تنهایی یا در ترکیب با سولفات روی تغذیه شدند، مقاومت در برابر بیماری و انتقال آنتی‌بادی‌ها به جوجه‌ها بهبود یافت (۱۸). Oviedo-Rondón و همکاران در سال ۲۰۱۳ نیز گزارش کردند استفاده از منابع آلی کم‌نیاز مس، روی و منگنز در جیره مرغ مادر سبب

### References

- Aksu, D.S., Aksu, T., Özsoy, B., Baytok, E. (2010). The effects of replacing inorganic with a lower level of organically complexed minerals (Cu, Zn and Mn) in broiler diets on lipid peroxidation and antioxidant defense systems. *Asian-Australasian J Anim Sci*, 23, 1066-1072. <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.90534>
- Amiri, M., Ghasemi, H.A., Hajkhodadadi, I., Khaltabadi Farahani, A.H. (2019). Efficacy of guanidinoacetic acid at different dietary crude protein levels on growth performance, stress indicators, antioxidant status, and intestinal morphology in broiler chickens subjected to cyclic heat stress. *Anim Feed Sci Technol*, 254, 114208. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114208>
- Attia, Y.A., Hassan, R.A., Tag El-Din, A.E., Abou-Shehema, B.M. (2011). Effect of ascorbic acid or increasing metabolizable energy level with or without supplementation of some essential amino acids on productive and physiological traits of slow-growing chicks exposed to chronic heat stress. *J Anim Physiol Anim Nutr*, 95, 744-755. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2010.01104.x>
- Bahakaim, A., Abdel Magied, H., Osman, S., Omar, A., AbdelMalak, N.Y., Ramadan, N. (2014). Effect of using different levels and sources of zinc in layer's diets on egg zinc enrichment. *Egypt Poultry Sci J*, 34, 39-56. <https://doi.org/10.21608/epsj.2014.5305>
- Bartlett, J.R., Smith, M.O. (2003). Effects of different levels of zinc on the performance and immunocompetence of broilers under heat stress. *Poult Sci*, 82, 1580-1588. <https://doi.org/10.1093/ps/82.10.1580>
- Bun, S.D., Guo, Y.M., Guo, F.C., Ji, F.J., Cao, H. (2011). Influence of organic zinc supplementation on the antioxidant status and immune responses of broilers challenged with *Eimeria tenella*. *Poult Sci*, 90, 1220-1226. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-01308>
- Butts, C.L., Sternberg, E.M. (2008). Neuroendocrine factors alter host defense by modulating immune function. *Cell Immunol*, 252, 16-26. <https://doi.org/10.1016/j.cellimm.2007.09.009>
- Dobrzanski, Z., Korczyński, M., Chojnacka, K., Górecki, H., Opaliński, S. (2008). Influence of organic forms of copper,

- manganese and iron on bioaccumulation of these metals and zinc in laying hens. *J Elem*, 13, 309-319
9. Dozier, W.A., Davis, A.J., Freeman, M.E., Ward, T.L. (2003). Early growth and environmental implications of dietary zinc and copper concentrations and sources of broiler chicks. *Br Poult Sci*, 44, 726-731. <https://doi.org/10.1080/00071660310001643714>
  10. Fakharzadeh, S., Hafizi, M., Baghaei, M.A., Etesami, M., Khayamzadeh, M., Kalanaky, S., Akbari, M.E., Nazaran, M.H. (2020). Using nanochelating technology for biofortification and yield increase in rice. *Sci Rep*, 10, 4351. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60189-x>
  11. Feng, J., Ma, W.Q., Niu, H.H., Wu, X.M., Wang, Y. (2010). Effects of zinc glycine chelate on growth, hematological, and immunological characteristics in broilers. *Biol Trace Elem Res*, 133, 203-211. <https://doi.org/10.1007/s12011-009-8431-9>
  12. Ferket, P.R., Qureshi, M.A. (1992). Effect of level of inorganic and organic zinc and manganese on the immune function of turkey toms. *Poult Sci*, 71(Suppl.1), 60.
  13. Ghasemi, H.A., Ghasemi, R., Torki, M. (2014). Periodic usage of low-protein methionine-fortified diets in broiler chickens under high ambient temperature conditions: Effects on performance, slaughter traits, leukocyte profiles and antibody response. *Int J Biometeorol*, 58, 1405-1414. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0741-0>
  14. Ghasemi, H.A., Hajkhodadadi, I., Hafizi, M., Taherpour, K., Nazaran, M.H. (2020). Effect of advanced chelate technology based trace minerals on growth performance, mineral digestibility, tibia characteristics, and antioxidant status in broiler chickens. *Nutr Metab*, 17, 94. <https://doi.org/10.1186/s12986-020-00520-5>
  15. Gunal, M. (2013). The effects of early-age thermal manipulation and daily short-term fasting on performance and body temperatures in broiler exposed to heat stress. *J Anim Physiol Anim Nutr*, 97, 854-860. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2012.01330.x>
  16. Hafizi, M., Hajarizadeh, A., Atashi, A., Kalanaky, S., Fakharzadeh, S., Masoumi, Z., Nazaran, M.H., Soleimani, M. (2015). Nanochelating based nanocomplex, GFC7, improves quality and quantity of human mesenchymal stem cells during in vitro expansion. *Stem Cell Res Ther*, 6, 226. <https://doi.org/10.1186/s13287-015-0216-9>
  17. Huang, C., Jiao, H., Song, Z., Zhao, J., Wang, X., Lin, H. (2015). Heat stress impairs mitochondria functions and induces oxidative injury in broiler chickens. *J Anim Sci*, 93, 2144-2153. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8739>
  18. Hudson, B.P., Fairchild, B.D., Wilson, J.L., Dozier, W.A., Buhr, R.J. (2004). Breeder age and zinc source in broiler breeder hen diets on progeny characteristics at hatching. *J Appl Poult Res*, 13, 55-64. <https://doi.org/10.1093/japr/13.1.55>
  19. Li, Y., Zhang, H., Chen, Y.P., Yang, M.X., Zhang, L.L., Lu, Z.X., Zhou, Y.M., Wang, T. (2015). *Bacillus amyloliquefaciens* supplementation alleviates immunological stress and intestinal damage in lipopolysaccharide-challenged broilers. *Anim Feed Sci Technol*, 208, 119-131. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.07.001>
  20. Lucas, A.M., Jamroz, C. (1961). Atlas of Avian Hematology. Agriculture Monograph 25, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. USA. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.6392>
  21. Ma, W., Niu, H., Feng, Jiang, Wang, Y., Feng, J. (2011). Effects of zinc glycine chelate on oxidative stress, contents of trace elements, and intestinal morphology in broilers. *Biol Trace Elem Res*, 142, 546-556. <https://doi.org/10.1007/s12011-010-8824-9>
  22. Maggini, S., Wintergerst, E.S., Beveridge, S., Hornig, D.H. (2007). Selected vitamins and trace elements support immune function by strengthening epithelial barriers and cellular and humoral immune responses. *Br J Nutr*, 98, S29-35. <https://doi.org/10.1017/S0007114507832971>
  23. Maxwell, M.H., Robertson, G.W. (1998). The avian heterophil leucocyte: A review. *Worlds Poult Sci J*, 54, 155-178. <https://doi.org/10.1079/wps19980012>
  24. Mohammadi, V., Ghazanfari, S., Mohammadi-Sangcheshmeh, A., Nazaran, M.H. (2015). Comparative effects of zinc-nano complexes, zinc-sulphate and zinc-methionine on performance in broiler chickens. *Br Poult Sci*, 56, 486-493. <https://doi.org/10.1080/00071668.2015.1064093>
  25. Nawab, A., Ibtisham, F., Li, G., Kieser, B., Wu, J., Liu, W., Zhao, Y., Nawab, Y., Li, K., Xiao, M., An, L. (2018). Heat stress in poultry production: Mitigation strategies to overcome the future challenges facing the global poultry industry. *J Therm Biol*, 78, 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.08.010>
  26. Nollet, L., Van Der Klis, J.D., Lensing, M., Spring, P. (2007). The effect of replacing inorganic with organic trace minerals in broiler diets on productive performance and mineral excretion. *J Appl Poult Res*, 16, 592-597. <https://doi.org/10.3382/japr.2006-00115>
  27. Oviedo-Rondón, E.O., Leandro, N.M., Ali, R., Koci, M., Moraes, V., Brake, J. (2013). Broiler breeder feeding programs and trace minerals on maternal antibody transfer and broiler humoral immune response. *J Appl Poult Res*, 22, 499-510. <https://doi.org/10.3382/japr.2012-00708>
  28. Poosuwan, K., Bunchasak, C., Kaewtapee, C. (2010). Long-term feeding effects of dietary protein levels on egg production, immunocompetence and plasma amino acids of laying hens in subtropical condition. *J Anim Physiol Anim Nutr*, 94, 186-195. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00898.x>
  29. Qureshi, M.A., Miller, L. (1991). Comparison of macrophage function in several commercial broiler genetic lines. *Poult Sci*, 70, 1094-1101. <https://doi.org/10.3382/ps.0702094>
  30. Salim, H.M., Lee, H.R., Jo, C., Lee, S.K., Lee, B.D. (2012). Effect of sex and dietary organic zinc on growth performance, carcass traits, tissue mineral content, and blood parameters of broiler chickens. *Biol Trace Elem Res*, 147, 120-129. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9282-8>
  31. Seyfori, H., Ghasemi, H.A., Hajkhodadadi, I., Hafizi, M. (2019). Effects of water supplementation of an organic acid-trace mineral complex on production and slaughter parameters, intestinal histomorphology, and macronutrient digestibility in growing ostriches. *Poult Sci*, 98, 4860-4867. <https://doi.org/10.3382/ps/pez221>
  32. Seyfori, H., Ghasemi, H.A., Hajkhodadadi, I., Nazaran, M.H., Hafizi, M. (2018). Growth performance, mineral digestibility, and blood characteristics of ostriches receiving drinking water supplemented with varying levels of chelated trace mineral complex. *Biol Trace Elem Res*, 183, 147-155. <https://doi.org/10.1007/s12011-017-1117-9>
  33. Shinde, P.L., Ingale, S.L., Choi, J.Y., Kim, J.S., Pak, S.I., Chae, B.J. (2011). Efficiency of inorganic and organic iron sources under iron depleted conditions in broilers. *Br Poult Sci*, 52, 578-583. <https://doi.org/10.1080/00071668.2011.607430>
  34. Snyder, D.B., Marquardt, W.W., Mallinson, E.T., Savage, P.K., Allen, D.C. (1984). Rapid serological profiling by enzyme-linked immunosorbent assay. III. Simultaneous measurements of antibody titers to infectious bronchitis,

- infectious bursal disease, and Newcastle disease viruses in a single serum dilution. *Avian Dis*, 28, 12-24. <https://doi.org/10.2307/1590125>
35. Sohail, M.U., Hume, M.E., Byrd, J.A., Nisbet, D.J., Ijaz, A., Sohail, A., Shabbir, M.Z., Rehman, H. (2012). Effect of supplementation of prebiotic mannan-oligosaccharides and probiotic mixture on growth performance of broilers subjected to chronic heat stress. *Poult Sci*, 91, 2235-2240. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02182>
36. Sohail, M.U., Ijaz, A., Yousaf, M.S., Ashraf, K., Zaneb, H., Aleem, M., Rehman, H. (2010). Alleviation of cyclic heat stress in broilers by dietary supplementation of mannan-oligosaccharide and lactobacillus-based probiotic: Dynamics of cortisol, thyroid hormones, cholesterol, C-reactive protein, and humoral immunity. *Poult Sci*, 89, 1934-1938. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00751>
37. Sun, J., Liu, D., Shi, R. (2015). Supplemental dietary iron glycine modifies growth, immune function, and antioxidant enzyme activities in broiler chickens. *Livest Sci*, 176, 129-134. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.03.004>
38. Virden, W.S., Yeatman, J.B., Barber, S.J., Zumwalt, C.D., Ward, T.L., Johnson, A.B., Kidd, M.T. (2003). Hen mineral nutrition impacts progeny livability. *J Appl Poult Res*, 12, 411-416. <https://doi.org/10.1093/japr/12.4.411>
39. Wang, G., Liu, L.J., Tao, W.J., Xiao, Z.P., Pei, X., Liu, B.J., Wang, M.Q., Lin, G., Ao, T.Y. (2019). Effects of replacing inorganic trace minerals with organic trace minerals on the production performance, blood profiles, and antioxidant status of broiler breeders. *Poult Sci*, 98, 2888-2895. <https://doi.org/10.3382/ps/pez035>
40. Yenice, E., Mızrak, C., Gültekin, M., Atik, Z., Tunca, M. (2015). Effects of organic and inorganic forms of manganese, zinc, copper, and chromium on bioavailability of these minerals and calcium in late-phase laying hens. *Biol Trace Elem Res*, 167, 300-307. <https://doi.org/10.1007/s12011-015-0313-8>
41. Zhu, Z., Yan, L., Hu, S., An, S., Lv, Z., Wang, Z., Wu, Y., Zhu, Y., Zhao, M., Gu, C., Zhang, A. (2019). Effects of the different levels of dietary trace elements from organic or inorganic sources on growth performance, carcass traits, meat quality, and faecal mineral excretion of broilers. *Arch Anim Nutr*, 73, 324-37. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2019.1620050>