مجله تحقیقات دامپزشکی
دوره ۷۷، شماره ۲، ۱۴۰۱، ۷۸-۶۳
مقاله پژوهشی

اثرات تعادل الکترولیتی جیره و ترئونین قابل هضم بر مورفولوژی و جمعیت میکروبی روده و قابلیت هضم جوجه‌های گوشتی در شرایط تنش حرارتی

حسینعلی قاسمی

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

تاریخ دریافت: ۳۱ فروردین ماه ۱۴۰۱، **تاریخ پذیرش:** ۲۵ خرداد ماه ۱۴۰۱

10.22059/jvr.2022.344517.3271 20.1001.1.20082525.1401.77.2.1.8

چکیده

زمینهٔ مطالعه: کاهش در سطح پروتئین، اسیدهای آمینه و یا تغییر در تعادل الکترولیتی جیره به عنوان راهکارهای مؤثر جهت جلوگیری از اثرات مضر تنش حرارتی در طیور پیشنهاد شده است.

هدف: مطالعه حاضر به منظور بررسی اثرات سطوح مختلف ترئونین و تعادل کاتیون-آنیون جیره در جوجه‌های گوشتی تحت شرایط تنش حرارتی انجام شد.

روش‌کار: از تعداد ۷۰۰ قطعه جوجه گوشتی نر یک روزه (سویه راس ۳۰۸) به مدت ۶ هفته در شرایط دمای بالای محیطی استفاده شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل ۱ + ۳ × ۲ در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۷ تیمار (۵ تکرار برای هر تیمار و ۲۰ جوجه برای هر تکرار) انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل ۲ سطح ترئونین (سطح توصیه شده و ۱۰ درصد بالاتر از سطح توصیه شده) و ۳ تعادل الکترولیتی جیره (۱۷۵، ۲۵۰ و ۳۲۵ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم جیره) بودند. یک تیمار با سطح نرمال ترئونین (سطح توصیه شده) و تعادل الکترولیتی ۲۵۰ در شرایط دمایی مطلوب به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد.

نتایج: اگرچه هیچ اثر متقابلی بین سطح ترئونین و تعادل الکترولیتی وجود نداشت، تعادل الکترولیتی ۱۷۵ شاخص عملکرد را در مقایسه با تعادل الکترولیتی ۲۵۰ یا ۳۲۵ افزایش داد ($P<۰/۰۵$). با تعادل الکترولیتی ۱۷۵ یا ۲۵۰ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم، نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت و سطح پرز در ژژنوم بهبود یافت ($P<۰/۰۵$). همچنین کاهش سطح تعادل الکترولیتی جیره منجر به افزایش انرژی متابولیسمی تصحیح شده برای نیتروژن شد ($P<۰/۰۵$). افزون بر این، افزایش در جمعیت لاکتوباسیل‌ها و بیفیدوباکتریوم در سکوم و قابلیت هضم پروتئین با افزایش سطح ترئونین جیره مشاهده شد ($P<۰/۰۵$).

نتیجه‌گیری نهایی: با توجه به این نتایج، استفاده از سطح بالای ترئونین یا سطح پایین تعادل الکترولیتی جیره (۱۷۵ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم) برای بهبود عملکرد، انرژی متابولیسمی و بهبود فلور میکروبی روده جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی می‌تواند مفید باشد.

کلمات کلیدی: ترئونین، تعادل الکترولیتی، تنش حرارتی، جوجه‌های گوشتی، سلامت روده

کپی‌رایت © مجله 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، مرکزی، ایران
پست الکترونیکی: h-ghasemi@araku.ac.ir

مقدمه

تنش گرمایی به عنوان یک چالش مهم برای پرورش طیور در مناطق آب و هوای گرم در نظر گرفته می‌شود که باعث خسارات اقتصادی عمده در صنعت طیور می‌شود. تنش گرمایی زمانی شروع می‌شود که دمای محیط برای گونه‌های طیور بالاتر از منطقه آسایش (۲۴-۱۸ درجه سانتی‌گراد) باشد (۱) و یا زمانی که گرمای تولید شده توسط پرنده از توانایی آن برای دفع حرارت فراتر رود (۲). مطالعات اخیر نشان داده است که گونه‌های امروزی طیور نسبت به تنش گرمایی مزمن بسیار حساس شده‌اند (۳،۴). عملکرد تولیدی ضعیف، کم آبی بدن، نرخ زنده‌مانی کم و افت کیفیت لاشه با افزایش چربی و کاهش توده عضلانی اسکلتی در جوجه‌های گوشتی در معرض تنش حرارتی مشاهده می‌شود (۵،۶). گزارش شده است که دستگاه گوارش به عنوان اولین اندام هدف در نظر گرفته می‌شود که در ساختار و عملکرد خود

تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرد. اثرات منفی تنش گرمایی بر ریخت‌شناسی دستگاه گوارش شامل کاهش ارتفاع پرز، افزایش عمق کریپت و سطح جذبی پرزها در مطالعات مختلف گزارش شده است (۹-۷). همچنین اثرات نامطلوب تنش گرمایی بر جمعیت میکروبی روده و به تبع آن هضم و جذب مواد مغذی در جوجه‌های گوشتی گزارش شده است (۳،۱۰).

طی تنش گرمایی، از دست دادن بیش از حد دی‌اکسید کربن ناشی از له‌له زدن باعث افزایش pH خون با کاهش غلظت دی‌اکسید کربن در گردش خون (CO_2) و کاهش فشار جزئی CO_2 و اسید کربنیک (H_2CO_3) می‌گردد. در نتیجه، پرندگان دچار آلکالوز تنفسی می‌شوند (۱۱). بنابراین، تنش گرمایی یکی از محرک‌های اصلی عدم تعادل الکترولیتی به شمار می‌رود (۱۴-۱۲)، زیرا جوجه‌های گوشتی وقتی تحت تنش گرمایی قرار می‌گیرند، تعداد تنفس را برای حفظ هموستاز افزایش می‌دهند. کاهش مداوم یون‌های HCO_3^- همراه با بازجذب کلیوی Cl^- به عنوان یک جبران متابولیک برای آلکالوز خون ممکن است منجر به اسیدی شدن مایعات خارج سلولی شود (۱۵). اسیدوز متابولیک ممکن است منجر به ورود یون‌های هیدروژن (H^+) به سلول‌ها به‌عنوان جایگزین پتاسیم (K^+) شود که در نتیجه منجر به افزایش غلظت K^+ پلاسما (هیپرکالمی) و سپس افزایش دفع K^+ از کلیه گردد (۱۶). گزارش‌هایی مبنی بر افزایش دفع الکترولیت‌های K^+ و Na^+ در ادرار و مدفوع در جوجه‌های گوشتی در معرض دمای بالای محیط وجود دارد (۱۱). تغییرات در pH سیستمیک در پاسخ به تنش گرمایی پیچیده است، شامل یک فاز پاسخ تنفسی اولیه می‌باشد که می‌تواند آلکالوز سیستمیک ایجاد کند و سپس پدیده‌های جبرانی شامل مکانیسم‌هایی است که می‌تواند اسیدوز سیستمیک ایجاد کند.

Mongin در سال ۱۹۸۱ اهمیت حفظ تعادل صحیح بین یون‌های تک‌ظرفیتی K^+، سدیم (Na^+) و کلرید (Cl^-) را در جیره‌های غذایی مشخص کرد تا حداکثر عملکرد تولیدی حاصل گردد (۱۴). بنابر گزارش مطالعات گذشته در شرایط نرمال محیطی، تعادل الکترولیتی جیره (Dietaryelectrolyte balance (DEB) = $K^+ + Na^+ - Cl^-$) باید برابر با ۲۵۰ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم باشد تا تعادل اسید و باز و عملکرد مطلوب حفظ شود. Borges و همکاران در سال ۲۰۰۳ اثرات سطوح مختلف DEB (۰، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۳۶۰ میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم) را بر عملکرد جوجه‌های گوشتی تحت شرایط تابستان بررسی و مشاهده کردند که DEB معادل ۲۴۰ میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم بهترین نتایج را در رابطه با افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک نشان داد (۱۷). در مطالعه‌ای در بلدرچین‌های ژاپنی تحت شرایط تنش حرارتی از جیره‌های با تعادل الکترولیتی مختلف (۱۴۰، ۱۹۶، ۲۴۱، ۲۸۶ و ۳۲۰ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم) استفاده شد و بهترین نتیجه از نظر عملکرد تولیدی و کیفیت تخم‌مرغ در گروه‌های تغذیه شده با جیره حاوی تعادل الکترولیتی ۱۹۶ و ۲۴۱ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم مشاهده شد (۱۳). اگرچه گزارش‌های اولیه نشان می‌دهد که حداکثر عملکرد معمولاً در جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با جیره با تعادل الکترولیتی ۲۵۰ میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم مشاهده می‌شود، شواهد نشان می‌دهد که تجویز جیره‌های با تعادل الکترولیتی پایین ممکن است اثرات مفیدی بر عملکرد پرندگان به دلیل ویژگی‌های اسیدی آن‌ها داشته باشد (۱۸).

از سوی دیگر، برهمکنش‌هایی بین DEB و پروتئین خام جیره یا برخی از اسیدهای آمینه نشان داده شده است (۱۹). همچنین گزارش شده است که تغییرات در تعادل الکترولیتی جیره ممکن است بر مسیر متابولیک و سرنوشت بسیاری از اسیدهای آمینه مانند سرین، گلیسین و اسیدهای آمینه شاخه‌دار تأثیر بگذارد (۲۰). Patience و همکاران در سال ۱۹۸۷ تأکید کردند که متابولیسم کلیوی و کبدی لیزین و تریپتوفان می‌تواند تحت تأثیر تعادل اسید-باز جیره غذایی باشد (۲۱). از این مطالعات، می‌توان نتیجه گرفت که متابولیسم اسیدهای آمینه هم هموستازی اسید-باز را تحت تأثیر قرار می‌دهد و هم تحت تأثیر این هموستازی قرار می‌گیرد. ترئونین سومین اسید آمینه محدود کننده است که در فرآیندهای متابولیکی مهم مانند تشکیل اسید اوریک و سنتز پروتئین نقش دارد. گزارش شده است که ترئونین جزء مهم موکوس (۴۰ درصد پروتئین موجود در گلیکوپروتئین‌های مخاطی) در دستگاه گوارش است (۲۲،۲۳). موسین‌ها قابل هضم نیستند و ترئونین مرتبط با آن‌ها قابل بازیابی نیست. بنابراین لازم است که نیاز این اسید آمینه با افزودن ال-ترئونین در جیره غذایی جوجه‌های گوشتی تأمین شود و یا به‌صورت توام از کنجاله سویا و پودر گوشت به عنوان مهم‌ترین مواد تشکیل دهنده تأمین کننده

ترئونین در جیره طیور استفاده شود (۲۴). اخیراً در مطالعه‌ای اخیر در جوجه‌های گوشتی سویه Vencobb- 400 چالش یافته با تنش گرمایی، مکمل ترئونین در سطوح ۱۱۰ و ۱۲۰درصد سطح توصیه شده تجاری، موجب بهبود عملکرد رشد، صفات لاشه و سلامت روده گردید (۲۵). همچنین بهبود در مقدار انرژی متابولیسمی تصحیح شده برای ابقاء نیتروژن (AMEn)، قابلیت هضم پروتئین خام و خصوصیات مورفولوژیک دستگاه گوارش با تغذیه ۱۱۲ و ۱۲۴ درصد سطح توصیه شده ترئونین در جوجه‌های گوشتی چالش یافته با کوکسیدیوز مشاهده شد (۲۶). همچنین نتایج مطالعه Kheiri و Alibeyghi در سال ۲۰۲۰ نشان داد که افزایش میزان ترئونین جیره به میزان ۱۲۰ درصد سطح توصیه NRC (۲۷) موجب کاهش جمعیت کل میکروب‌های روده گردید (۲۸). بر اساس مطالعه‌ای، اگر استفاده از مکمل اسیدهای آمینه نظیر ترئونین و تریپتوفان سنتتیک افزایش یابد، با کاهش پتاسیم جیره ناشی از کم شدن سطوح کنجاله دانه‌های روغنی نظیر کنجاله سویا و کانولا در جیره، میزان اسیدیته آن کاهش می‌یابد. همچنین اثبات شده است که جذب اسیدهای آمینه در روده کوچک به سطح سدیم بستگی دارد و پتاسیم نیز به جذب اسیدهای آمینه توسط سلول‌های بدن کمک می‌کند (۲۱). بر اساس اطلاعات موجود در نشریات علمی، هیچ اطلاعاتی در مورد اثرات سطوح مختلف ترئونین جیره غذایی در تقابل با تعادل الکترولیتی جیره بر فراسنجه‌های سلامت روده به خصوص در شرایط چالشی مانند تنش گرمایی در دسترس نیست. بنابراین، هدف از مطالعه حاضر بررسی اثرات جداگانه و متقابل بین تعادل الکترولیتی جیره و سطوح مختلف ترئونین جیره غذایی بر عملکرد تولیدی، مورفولوژی روده باریک، جمعیت میکروبی سکوم و قابلیت هضم مواد مغذی در جوجه‌های گوشتی تحت شرایط تنش گرمایی بود.

مواد و روش کار

پرنده‌ها، جیره‌های آزمایشی و مدیریت پرورش:

در مطالعه حاضر، ۷۰۰ قطعه جوجه گوشتی نر یک روزه (راس ۳۰۸) با وزن اولیه مشابه از یک جوجه‌کشی تجاری خریداری گردید. مطالعه حاضر یک آرایش فاکتوریل ۲×۳ با دو سطح ترئونین (سطح توصیه شده تجاری و ۱۰ درصد بالاتر از سطح توصیه شده تجاری) و سه تعادل الکترولیتی جیره (۳۲۵، ۲۵۰ و ۱۷۵ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم جیره)، به علاوه یک تیمار شاهد بود. تیمار شاهد در شرایط دمای مطلوب محیطی پرورش یافتند و با جیره غذایی پایه (جیره حاوی سطح توصیه شده ترئونین با تعادل الکترولیتی ۲۵۰ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم جیره) تغذیه شدند. جوجه‌ها تا سن ۱۰ روزگی با جیره یکسان (جیره جوجه‌های تیمار با سطح توصیه شده ترئونین و تعادل الکترولیتی ۲۵۰ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم جیره) تغذیه شدند. از سن ۱۱ روزگی، جوجه ها به ۷ گروه آزمایشی (هر تیمار حاوی ۵ تکرار و ۲۰ جوجه در هر تکرار) تقسیم شدند. در همه تیمارهای آزمایشی، میزان انرژی متابولیسمی و سطح پروتئین و اسیدهای آمینه لیزین قابل هضم و متیونین + سیستئین قابل هضم در جیره‌های آغازین، رشد و پایانی مطابق با سطح توصیه شده کاتالوگ پرورشی سویه راس ۳۰۸ (Ross 308 Broiler Nutrition Specs 2014, EN-Aviagen) تنظیم شدند. از نمک‌های کاتیونی کلرید سدیم، بیکربنات سدیم، بیکربنات پتاسیم و نمک آنیونی کلرید آمونیوم برای تنظیم تعادل الکترولیتی جیره استفاده شد (۱۲،۱۷). غلظت سدیم در تمام جیره‌های آزمایشی با استفاده از کلرید سدیم و بیکربنات سدیم یکسان‌سازی شد و دستیابی به تعادل الکترولیتی مورد نیاز در جیره با تغییر در غلظت پتاسیم و کلر جیره (تغییر بین غلظت بیکربنات پتاسیم و کلرید آمونیوم) حاصل شد. اجزای مواد خوراکی و ترکیب مواد مغذی جیره‌های آزمایشی مورد استفاده در دوره رشد (۱۰ تا ۲۴ روزگی) و دوره پایانی (۲۴ تا ۴۲ روزگی) در جدول ۱ نشان داده شده است.

آزمایش در دو اتاق مجزا با قابلیت کنترل دمای محیط انجام شد. هر اتاق مجهز به بخاری‌های برقی قابل حمل با ترموستات (قدرت ۲۰۰۰ وات) بود که هر کدام دارای یک فن برای گردش هوای گرم بود. رطوبت نسبی (RH)، که با یک رطوبت ساز (ظرفیت ۴/۵ لیتر) در داخل اتاق‌ها تأمین شد، در طول دوره آزمایشی بین ۵۰ تا ۶۰ درصد متغیر بود. دما در ۳ روز اول برای همه جوجه‌ها بین ۳۳ تا ۳۴ درجه سانتی‌گراد حفظ شد و به تدریج ۳ درجه سانتی‌گراد در هفته کم شد تا به دمای نهایی ۲۲ درجه سانتی‌گراد در گروه شاهد کاهش یافت، در حالی که دمای سالن برای ۶ گروه تحت تنش گرمایی (HS-

1 تا HS-6) ۸ ساعت (۱۰:۰۰ تا ۱۸:۰۰) بدون تغییر باقی ماند (یعنی همان دمای بین ۳۳ تا ۳۴ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان دمای تنش در این ساعات) و سپس به همان سطح دمایی در گروه شاهد برای ۱۶ ساعت باقی مانده روزانه تنظیم می‌شد. اتاق‌ها با استفاده از یک تهویه با جریان پیوسته و با فشار کنترل شده با حرکت هوا از طریق منافذ ورودی هوا به صورت مکانیکی تهویه شدند. جیره‌های آزمایشی (به صورت مش) و آب آشامیدنی به طور آزاد از روز ۰ تا ۴۲ در دسترس بود. تا سه روزگی از برنامه روشنایی ۲۴ ساعت نور و از ۳ روزگی تا پایان آزمایش از برنامه ۱ ساعت خاموشی و ۲۳ ساعت روشنایی استفاده شد.

عملکرد رشد: پرندگان هر واحد آزمایشی در انتهای هر دوره پرورش توزین شدند و افزایش وزن هر واحد از اختلاف وزن انتها و ابتدای دوره محاسبه شد. قبل از توزین، خوراک پرندگان به مدت ۳ ساعت قطع شد تا از لحاظ وضعیت دستگاه گوارش یکسان باشند. راندمان مصرف خوراک از تقسیم میانگین افزایش وزن جوجه‌ها بر میانگین خوراک مصرفی برای کل دوره محاسبه شد. در طول آزمایش، روزانه و قبل از تخصیص خوراک به هر واحد آزمایشی، تعداد تلفات در کارتکس‌های هر واحد آزمایشی ثبت و وزن تلفات آن روز یادداشت گردید. از میزان تلفات روزانه در تعیین روز مرغ هر واحد آزمایشی استفاده گردید. یکنواختی گله در سن ۴۲ روزگی و توسط روش Amiri و همکاران در سال ۲۰۱۹ محاسبه شدند (۷). مطابق این روش، نرخ یکنواختی گله با وزن‌کشی انفرادی پرندگان از این فرمول محاسبه گردید:

نرخ یکنواختی = ۱۰۰ - [(انحراف معیار ÷ میانگین افزایش وزن) × ۱۰۰]

ریخت‌شناسی بافت ژژنوم روده باریک: به منظور بررسی بافت‌شناسی مخاط ژژونوم جوجه‌ها در سن ۴۲ روزگی، از هر تکرار یک نمونه بافتی به ابعاد ۱ سانتی‌متر از نقطه میانی ژژونوم یک جوجه تهیه شد و در فرمالین ۱۰ درصد برای مطالعه بافت تثبیت شد. نمونه‌های بافتی در دستگاه آماده‌سازی خودکار بافت قرار گرفتند و با عبور از محلول فرمالین ۱۰ درصد سه مرحله آبگیری، شفاف سازی و پارافینه کردن انجام شد. نمونه‌ها با ضخامت ۵ میکرومتر با استفاده از میکروتوم نیمه خودکار (Model Leica RM 2145) روی اسلاید شیشه‌ای قرار گرفتند و با هماتوکسیلین-ائوزین رنگ آمیزی شدند. برای هر نمونه بافتی ۲ برش و روی هر برش ۱۰ اندازه‌گیری انجام شد. جهت بررسی ریخت‌شناسی نمونه‌های بافتی از میکروسکوپ نوری (Olympus corporation, BX Model U TV 0.5) استفاده شد. شاخص‌های ریخت‌شناسی پرزهای روده شامل طول پرز (نوک پرز تا محل اتصال کریپت)، عرض پرز (متوسط عرض پرز در ابتدا، وسط و انتهای پرز) و عمق کریپت (پایه پرز تا لایه زیر مخاط) روی ۱۰ پرز سالم انتخاب شده از هر نمونه اندازه‌گیری شد. سطح جذبی پرزها نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

سطح جذبی پرزها = (۲/ میانگین عرض پرز) × (میانگین طول پرز) × π

جمعیت میکروبی: در روز ۴۲ آزمایش، یک پرنده در هر تکرار (۵ پرنده در هر تیمار) انتخاب و کشتار شدند. محتویات گوارشی سکوم بلافاصله پس از کشتار جمع‌آوری شد. برای جداسازی و شمارش فلور میکروبی روده، ۱ گرم نمونه تازه گوارشی در شرایط کاملاً استریل و با محلول رقیق بی هوازی (Anaerobic dilution solution, ADS) در نسبت ۱ به ۱۰ تحت شرایط CO_2 مخلوط شد. رقت بیشتر در ADS برای شمارش باکتری‌های بی هوازی انجام شد. غلظت‌های اولیه در ADS به صورت مرحله‌ای در محلول بافر فسفات نمکی با pH ۷/۴ برای شمارش باکتری‌های هوازی رقیق شد. رقیق سازی با ضریب رقت ۱۰ تا آماده‌سازی رقت‌های 10^{-5}، 10^{-7} و 10^{-9} برای نمونه‌های سکوم ادامه یافت. ۰/۱ میلی‌لیتر نمونه از هر رقت در ۲ تکرار روی سطح محیط کشت آگار گسترش یافت. برای شمارش جمعیت کل باکتری‌های بی هوازی از آگار ویلکینز-چالجرن، برای لاکتوباسیل‌ها از آگار MRS، برای بیفیدوباکتریوم از آگار BSM، برای کلی‌فرم‌ها از آگار مک‌کانکی، برای *اشرشیاکلی* از آگار EMB و برای کلستریدیوم‌ها از آگار TSC استفاده شد. محیط کشت‌های آگارهای مرتبط با باکتری‌های بی‌هوازی، لاکتوباسیل‌ها، بیفیدوباکتریوم و کلستریدیوم‌ها در انکوباتور بی‌هوازی CO_2دار (حاوی ۵ درصد) و بقیه محیط‌های کشت در انکوباتور هوازی قرار داده شدند. دمای انکوباسیون برای تمام محیط‌های کشت ۳۷ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. مدت زمان انکوباسیون نیز برای تمام محیط‌های کشت ۴۸ ساعت بود. شمارش باکتریایی با

استفاده از دستگاه کلنی کانتر و به صورت استاندارد از روی شمارش تعداد کلنی‌ها در هر پلت و ضرب آن در ضریب رقت محاسبه و بر اساس واحدهای تشکیل دهنده کلنی (CFU) در هر گرم نمونه بیان شد.

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

	۱۰ تا ۲۴ روزگی				۲۴ تا ۴۲ روزگی			
تعادل الکترولیتی جیره[1] (میلی‌اکی‌والان/کیلوگرم)	۱۷۵		۲۵۰		۳۲۵		۱۷۵	
سطح ترئونین (درصد)	۱۰۰	۱۱۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۰۰	۱۱۰
اجزای جیره (درصد)								
ذرت	۵۷/۶۰	۵۷/۶۰	۵۷/۶۰	۵۷/۶۰	۵۷/۶۰	۵۷/۶۰	۶۲/۹۲	۶۲/۹۲
کنجاله سویا	۲۸/۵۶	۲۸/۵۶	۲۸/۵۶	۲۸/۵۶	۲۸/۵۶	۲۸/۵۶	۲۲/۹۵	۲۲/۹۵
کنجاله گلوتن ذرت	۵/۱۶	۵/۱۶	۵/۱۶	۵/۱۶	۵/۱۶	۵/۱۶	۵/۲۱	۵/۲۱
روغن سویا	۳/۲۰	۳/۲۰	۳/۲۰	۳/۲۰	۳/۲۰	۳/۲۰	۳/۸۰	۳/۸۰
مونو کلسیم فسفات	۱/۳۲	۱/۳۲	۱/۳۲	۱/۳۲	۱/۳۲	۱/۳۲	۱/۱۸	۱/۱۸
کربنات کلسیم	۱/۴۵	۱/۴۵	۱/۴۵	۱/۴۵	۱/۴۵	۱/۴۵	۱/۳۴	۱/۳۴
نمک	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
بیکربنات سدیم	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷
بیکربنات پتاسیم	–	–	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۸۸	۰/۸۸	–	۰/۹۵
کلرید آمونیوم	۰/۳۸	۰/۳۸	–	–	–	–	۰/۲۸	۰/۲۸
DL- متیونین	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۰	۰/۲۰
L- لیزین، هیدروکلرید	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۷	۰/۳۷
L- ترئونین	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۲۳	۰/۱۴
مکمل مواد معدنی[2]	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
مکمل ویتامینی[3]	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
شن ساختمان	۰/۷۷	۰/۶۸	۱/۰۵	۰/۹۶	۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۷۰	۰/۷۹
ترکیب محاسبه شده								
انرژی قابل متابولیسم (کیلوکالری/کیلوگرم)	۳۱۰۰	۳۱۰۰	۳۱۰۰	۳۱۰۰	۳۱۰۰	۳۱۰۰	۳۲۰۰	۳۲۰۰
پروتئین خام (درصد)	۲۱/۵	۲۱/۵	۲۱/۵	۲۱/۵	۲۱/۵	۲۱/۵	۱۹/۵	۱۹/۵
کلسیم (درصد)	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۰	۰/۸۰
فسفر قابل دسترس (درصد)	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۰	۰/۴۰
سدیم (درصد)	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
پتاسیم (درصد)	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۲	۰/۸۲	۱/۱۲	۱/۱۲	۰/۷۴	۰/۷۴
کلر (درصد)	۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۴۶	۰/۴۶
لیزین قابل هضم (درصد)	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۰۳	۱/۰۳
متیونین + سیستئین (درصد)	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۰	۰/۸۰
ترئونین قابل هضم (درصد)	۰/۷۷	۰/۸۵	۰/۷۷	۰/۸۵	۰/۷۷	۰/۸۵	۰/۶۹	۰/۷۶

[1] تعادل الکترولیتی جیره $DEB= (Na^+ + K^+) - Cl^-$. [2] 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. [3] هرکیلوگرم جیره حاوی مکمل ویتامینه حاوی: ۹۰۰۰ IU ویتامین A، ۳۵۰۰ IU ویتامین D3، ۵۰ میلی‌گرم ویتامین E، ۲/۲ میلی‌گرم ویتامین K3، ۱/۸۰ میلی‌گرم ویتامین B1، ۶/۶ میلی‌گرم ویتامین B2، ۴۰ میلی‌گرم ویتامین B3، ۱۵ میلی‌گرم کلسیم دی‌پنتوتنات، ۳ میلی‌گرم ویتامین B6، ۱/۶ میلی‌گرم ویتامین B9، ۰/۰۱۵ میلی‌گرم ویتامین B12 و ۴۵۰ میلی‌گرم کولین کلراید.

جدول ۲. اثرات سطوح ترئونین جیره و تعادل الکترولیتی جیره بر عملکرد تولیدی جوجه‌های گوشتی در شرایط تنش گرمایی (HS).

گروه‌های آزمایشی	سطح ترئونین (توصیه تجاری)	تعادل الکترولیتی (میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم)	افزایش وزن (گرم)	خوراک مصرفی (گرم)	راندمان مصرف خوراک	یکنواختی (درصد)	شاخص عملکرد[۲]
HS-1	۱۰۰ درصد	۱۷۵	۲۳۵۴ abc	۴۱۸۴	۰/۵۶۳ ab	۸۴/۳۰	۳۱۲/۴ a
HS-2	۱۱۰ درصد	۱۷۵	۲۴۰۷ ab	۴۱۶۳	۰/۵۷۹ a	۸۶/۶۵	۳۲۵/۳ a
HS-3	۱۰۰ درصد	۲۵۰	۲۳۲۴ bc	۴۱۶۴	۰/۵۵۸ ab	۸۴/۹۱	۲۹۷/۷ ab
HS-4	۱۱۰ درصد	۲۵۰	۲۳۴۲ bc	۴۱۶۳	۰/۵۶۲ ab	۸۶/۰۴	۲۹۹/۶ ab
HS-5	۱۰۰ درصد	۳۲۵	۲۲۷۰ c	۴۱۴۴	۰/۵۴۸ b	۸۳/۶۱	۲۷۷/۴ b
HS-6	۱۱۰ درصد	۳۲۵	۲۳۲۴ bc	۴۲۱۱	۰/۵۵۲ b	۸۵/۹۳	۲۸۳/۰ b
شاهد			۲۴۴۲ a	۴۲۰۹	۰/۵۸۰ a	۸۸/۰۷	۳۱۸/۵ a
SEM			۳۱/۳	۳۸/۷	۰/۰۰۸	۱/۲۶۰	۹/۰۶
P-value (طرح کاملاً تصادفی)			۰/۰۱۴	۰/۸۱۶	۰/۰۴۶	۰/۲۴۰	۰/۰۰۶
ترئونین جیره (توصیه تجاری)							
۱۰۰ درصد			۲۳۱۶	۴۱۶۴	۰/۵۵۶	۸۴/۲۷	۲۹۵/۸
۱۱۰ درصد			۲۳۵۸	۴۱۷۹	۰/۵۶۴	۸۶/۲۱	۳۰۲/۶
SEM			۱۸/۹	۲۳/۱	۰/۰۰۵	۰/۷۵۸	۵/۲۷
تعادل الکترولیتی جیره (میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم)							
۱۷۵			۲۳۸۱	۴۱۷۳	۰/۵۷۱	۸۵/۴۸	۳۱۸/۸ a
۲۵۰			۲۳۳۳	۴۱۶۴	۰/۵۶۰	۸۵/۴۷	۲۹۸/۷ b
۳۲۵			۲۲۹۷	۴۱۷۸	۰/۵۵۰	۸۴/۷۷	۲۸۰/۲ c
SEM			۲۳/۲	۲۸/۳	۰/۰۰۶	۰/۹۲۸	۶/۴۶
P-value (فاکتوریل ۲ × ۳)							
ترئونین			۰/۱۳۷	۰/۶۴۰	۰/۲۵۵	۰/۰۸۴	۰/۳۷۲
تعادل الکترولیتی جیره			۰/۰۵۵	۰/۹۳۹	۰/۰۵۴	۰/۸۲۶	۰/۰۰۱
ترئونین × تعادل الکترولیتی جیره			۰/۸۲۷	۰/۵۲۴	۰/۷۲۷	۰/۸۷۱	۰/۸۳۱

- حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری در سطح ۰/۰۵ است. [۲] شاخص عملکرد از این فرمول محاسبه شد: ۱۰۰ × [(سن کشتار × ضریب تبدیل غذایی)/(درصد ماندگاری × میانگین وزن کشتار)] = شاخص عملکرد.

قابلیت هضم مواد مغذی: به منظور تعیین قابلیت هضم ظاهری ایلئومی مواد مغذی، ۳ روز قبل از جمع‌آوری محتویات ایلئوم (روز ۳۹) اکسید کروم (۳ گرم در کیلوگرم) به عنوان یک نشانگر به جیره اضافه شد. در پایان آزمایش (در روز ۴۲)، دو جوجه از هر تکرار با توجه به میانگین وزنی پن انتخاب و کشتار شد و از محتویات ایلئوم آن‌ها نمونه‌برداری به عمل آمد. نمونه‌های ایلئوم به همراه نمونه‌های خوراک به آزمایشگاه جهت تعیین مقدار ماده خشک، چربی خام، پروتئین خام، کلسیم، فسفر و انرژی خام انتقال داده شد. تعیین ماده خشک (برای خوراک)، خاکستر خام، چربی خام و پروتئین خام در نمونه‌های خوراک و فضولات با استفاده از روش استاندارد ذکر شده در AOAC Int., 2005, Arlington, VA., (AOAC USA) صورت گرفت.

قابلیت هضم ظاهری ایلئومی مواد مغذی به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$AIDC = 1- [(marker_{diet}/marker_{id}) \times (nutrient_{id}/nutrient_{diet})]$$

در این رابطه $nutrient_{diet}$ و $marker_{diet}$ غلظت مواد مغذی و اکسید کروم در خوراک و $Nutrient_{id}$ و $marker_{id}$ غلظت همان مواد مغذی و اکسید کروم در محتویات ایلئوم هستند.

مقدار AMEn نیز از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$AMEn\ (kcal/kg\ of\ diet) = GE_{diet} - [(GE_{id} \times IF) + 8.22 \times (N_{diet} - N_{id} \times IF)]$$

که GE_{diet} انرژی خام خوراک (کیلوکالری در کیلوگرم)، GE_{id} انرژی خام محتویات هضمی (کیلوکالری/کیلوگرم)، IF معادل فاکتور تصحیح برای تعیین نسبت غیرقابل هضم مواد خوراکی ($marker_{diet}/marker_{id}$)، N_{diet} غلظت نیتروژن در خوراک و N_{id} غلظت نیتروژن در محتویات ایلئوم و ۸/۲۲ معادل انرژی خام اسید اوریک (کیلوکالری در کیلوگرم) است.

جدول ۳. اثرات سطوح ترئونین جیره و تعادل الکترولیتی جیره بر فراسنجه‌های مورفولوژی ژژنوم در جوجه‌های گوشتی در شرایط تنش گرمایی (HS).

گروه‌های آزمایشی	سطح ترئونین (توصیه تجاری)	تعادل الکترولیتی (میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم)	طول پرز (میکرومتر)	عرض پرز (میکرومتر)	عمق کریپت (میکرومتر)	طول پرز: عمق کریپت	سطح جذبی پرز (میلی‌متر مربع)
HS-1	۱۰۰ درصد	۱۷۵	۱۲۰۲^{bc}	۱۲۵/۴ ^{b}	۲۴۱/۴	۵/۰۲ ^{bc}	۰/۴۷۲ ^{c}
HS-2	۱۱۰ درصد	۱۷۵	۱۳۵۵^{ab}	۱۲۷/۷ ^{b}	۲۳۱/۸	۵/۸۹ ^{b}	۰/۵۳۹ ^{bc}
HS-3	۱۰۰ درصد	۲۵۰	۱۲۳۸^{bc}	۱۳۱/۷ ^{b}	۲۳۵/۴	۵/۳۹ ^{bc}	۰/۵۰۸ ^{c}
HS-4	۱۱۰ درصد	۲۵۰	۱۳۴۷^{ab}	۱۴۲/۲ ^{b}	۲۲۴/۱	۶/۱۴ ^{ab}	۰/۵۹۷ ^{b}
HS-5	۱۰۰ درصد	۳۲۵	۱۱۱۵^{c}	۱۳۴/۲ ^{b}	۲۵۱/۰	۴/۵۲ ^{c}	۰/۴۷۱ ^{c}
HS-6	۱۱۰ درصد	۳۲۵	۱۲۴۱^{bc}	۱۳۱/۱ ^{b}	۲۳۲/۸	۵/۳۵ ^{bc}	۰/۵۱۲ ^{bc}
	شاهد		۱۴۱۹^{a}	۱۶۲/۱ ^{a}	۲۰۲/۲	۷/۰۴ ^{a}	۰/۷۲۱ ^{a}
	SEM		۵۳/۰	۶/۸۲	۱۴/۲۶	۰/۳۷۰	۰/۰۲۸
	P-value (طرح کاملاً تصادفی)		۰/۰۰۶	۰/۰۱۲	۰/۳۵۸	۰/۰۰۲	<۰/۰۰۱
	ترئونین جیره (توصیه تجاری)						
	۱۰۰ درصد		۱۱۸۵^{b}	۱۳۰/۴	۲۴۲/۶	۴/۹۸ ^{b}	۰/۴۸۴ ^{b}
	۱۱۰ درصد		۱۳۱۴^{a}	۱۳۳/۷	۲۲۹/۶	۵/۷۹ ^{a}	۰/۵۵۰ ^{a}
	SEM		۲۸/۹	۴/۲۳	۸/۵۴	۰/۲۲۵	۰/۰۱۶
	تعادل الکترولیتی جیره (میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم)						
	۱۷۵		۱۲۷۸	۱۲۶/۵	۲۳۶/۶	۵/۴۶	۰/۵۰۶
	۲۵۰		۱۲۹۲	۱۳۷/۰	۲۲۹/۸	۵/۷۶	۰/۵۵۳
	۳۲۵		۱۱۷۹	۱۳۲/۶	۲۴۱/۹	۴/۹۴	۰/۴۹۲
	SEM		۸/۳۵	۵/۱۸	۱۰/۴۶	۰/۲۷۵	۰/۰۱۹
	P-value (فاکتوریل ۲ × ۳)						
	ترئونین		۰/۰۰۴	۰/۵۹۲	۰/۲۹۲	۰/۰۱۵	۰/۰۰۸
	تعادل الکترولیتی جیره		۰/۰۶۳	۰/۳۷۵	۰/۷۱۵	۰/۱۲۲	۰/۰۸۴
	ترئونین × تعادل الکترولیتی جیره		۰/۹۱۰	۰/۶۴۹	۰/۹۵۴	۰/۹۸۹	۰/۶۸۱

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

جدول ۴. اثرات سطوح ترئونین جیره و تعادل الکترولیتی جیره بر جمعیت باکتری‌های (log10 CFU/g) سکوم در جوجه‌های گوشتی در شرایط تنش گرمایی (HS).

گروه‌های آزمایشی	سطح ترئونین (توصیه تجاری)	تعادل الکترولیتی (میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم)	تعداد کل بیهوازی	لاکتوباسیل‌ها	بیفیدوباکتریوم	کلی‌فرم‌ها	اشریشیاکلی	کلستریدیوم‌ها
HS-1	۱۰۰ درصد	۱۷۵	۹/۴۰	۷/۸۷ ^{b}	۸/۰۴ ^{b}	۸/۰۱ ^{a}	۷/۷۳ ^{a}	۷/۱۵ ^{a}
HS-2	۱۱۰ درصد	۱۷۵	۹/۵۹	۸/۵۸ ^{b}	۸/۷۴ ^{ab}	۹/۲۹ ^{a}	۸/۰۵ ^{a}	۷/۶۴ ^{a}
HS-3	۱۰۰ درصد	۲۵۰	۹/۰۹	۸/۰۳ ^{b}	۸/۲۹ ^{b}	۸/۲۱ ^{a}	۸/۱۶ ^{a}	۶/۹۱ ^{a}
HS-4	۱۱۰ درصد	۲۵۰	۹/۶۴	۸/۸۳ ^{b}	۸/۹۴ ^{ab}	۸/۹۱ ^{a}	۸/۲۹ ^{a}	۷/۳۴ ^{a}
HS-5	۱۰۰ درصد	۳۲۵	۹/۵۶	۸/۳۰ ^{b}	۷/۹۵ ^{b}	۸/۴۲ ^{a}	۸/۰۰ ^{a}	۷/۳۵ ^{a}
HS-6	۱۱۰ درصد	۳۲۵	۹/۵۸	۸/۷۰ ^{b}	۸/۳۲ ^{b}	۸/۸۷ ^{a}	۸/۲۰ ^{a}	۷/۸۱ ^{a}
	شاهد		۱۰/۴۳	۹/۹۴ ^{a}	۹/۵۳ ^{a}	۶/۵۶ ^{b}	۵/۸۲ ^{b}	۵/۲۱ ^{b}
	SEM		۰/۳۳۱	۰/۳۵۸	۰/۳۱۳	۰/۶۵۳	۰/۵۱۵	۰/۵۲۳
	P-value (طرح کاملاً تصادفی)		۰/۲۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۱۶	۰/۰۰۶	۰/۰۲۷	۰/۰۳۱
	ترئونین جیره (توصیه تجاری)							
	۱۰۰ درصد		۹/۳۵	۸/۰۷ ^{b}	۸/۰۹ ^{b}	۸/۲۱ ^{b}	۷/۹۶	۷/۱۴
	۱۱۰ درصد		۹/۶۰	۸/۷۰ ^{a}	۸/۶۷ ^{a}	۹/۰۳ ^{a}	۸/۱۸	۷/۶۰
	SEM		۰/۱۸۹	۰/۲۱۳	۰/۱۶۷	۰/۳۵۵	۰/۳۰۴	۰/۳۰۲
	تعادل الکترولیتی جیره (میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم)							
	۱۷۵		۹/۴۹	۸/۲۳	۸/۳۹	۸/۶۵	۷/۸۹	۷/۳۹
	۲۵۰		۹/۳۶	۸/۴۳	۸/۶۱	۸/۵۶	۸/۲۲	۷/۱۲
	۳۲۵		۹/۵۷	۸/۵۰	۸/۱۴	۸/۶۴	۸/۱۰	۷/۵۸
	SEM		۰/۲۳۱	۰/۲۶۱	۰/۲۰۴	۰/۴۱۲	۰/۳۷۲	۰/۳۷۰
	P-value (فاکتوریل ۲ × ۳)							
	ترئونین		۰/۳۵۰	۰/۰۴۶	۰/۰۲۳	۰/۱۳۳	۰/۶۲۰	۰/۲۹۱
	تعادل الکترولیتی جیره		۰/۸۱۹	۰/۷۴۷	۰/۲۷۱	۰/۹۷۶	۰/۸۱۹	۰/۶۷۹
	ترئونین × تعادل الکترولیتی جیره		۰/۷۱۰	۰/۸۵۰	۰/۸۱۸	۰/۶۳۶	۰/۹۸۴	۰/۹۹۷

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

جدول ۵. اثرات سطوح ترئونین جیره و تعادل الکترولیتی جیره بر قابلیت هضم مواد مغذی و انرژی متابولیسمی تصحیح شده بر اساس ذخیره نیتروژن (AMEn) در جوجه‌های گوشتی در شرایط تنش حرارتی (HS).

گروه‌های آزمایشی	سطح ترئونین (توصیه تجاری)	تعادل الکترولیتی (میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم)	ماده خشک (درصد)	پروتئین خام (درصد)	چربی (درصد)	کلسیم (درصد)	فسفر (درصد)	AMEn (کیلوکالری بر کیلوگرم)
HS-1	۱۰۰ درصد	۱۷۵	۷۸/۸۷	۷۲/۷۳ bc	۸۱/۱۴	۳۹/۲۰	۵۲/۱۴ b	۳۱۰۴ab
HS-2	۱۱۰ درصد	۱۷۵	۷۹/۹۰	۷۴/۴۰ ab	۸۱/۶۶	۴۰/۱۵	۵۱/۷۲ b	۳۱۱۲ab
HS-3	۱۰۰ درصد	۲۵۰	۷۹/۲۶	۷۲/۴۹ bc	۸۲/۰۰	۳۸/۶۸	۵۲/۵۲ b	۳۰۹۸ab
HS-4	۱۱۰ درصد	۲۵۰	۷۹/۵۶	۷۳/۵۲ abc	۸۲/۴۵	۳۸/۰۸	۵۳/۰۸ b	۳۱۰۶ab
HS-5	۱۰۰ درصد	۳۲۵	۷۸/۷۹	۷۱/۱۲ c	۸۱/۴۲	۳۹/۲۳	۵۱/۰۸ b	۳۰۱۶b
HS-6	۱۱۰ درصد	۳۲۵	۷۹/۳۵	۷۲/۱۷ bc	۸۱/۱۹	۳۹/۴۰	۵۰/۱۹ b	۳۰۲۶b
	شاهد		۸۰/۹۲	۷۵/۷۲ a	۸۴/۹۵	۴۴/۹۲	۵۸/۰۶ a	۳۱۸۱a
	SEM		۰/۷۴۷	۰/۷۶۳	۱/۱۳۰	۱/۶۴۷	۱/۵۴۸	۳۱/۴
	P-value (طرح کاملاً تصادفی)		۰/۴۷۸	۰/۰۰۵	۰/۲۵۳	۰/۱۱۳	۰/۰۳۳	۰/۰۱۷
	ترئونین جیره (توصیه تجاری)							
	۱۰۰ درصد		۷۸/۹۷	۷۱/۷۶ b	۸۱/۵۲	۳۹/۰۴	۵۱/۹۱	۳۰۷۳
	۱۱۰ درصد		۷۹/۶۰	۷۳/۷۲ a	۸۱/۷۷	۳۹/۲۱	۵۱/۶۶	۳۰۸۲
	SEM		۰/۴۴۵	۰/۴۶۶	۰/۶۶۶	۰/۹۸۵	۰/۹۳۴	۱۸/۹
	تعادل الکترولیتی جیره (میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم)							
	۱۷۵		۷۹/۳۹	۷۳/۵۷	۸۱/۴۰	۳۹/۶۷	۵۱/۹۳	۳۱۰۸a
	۲۵۰		۷۹/۴۱	۷۳/۰۱	۸۲/۲۲	۳۸/۳۸	۵۲/۸۰	۳۱۰۲a
	۳۲۵		۷۹/۰۷	۷۱/۶۵	۸۱/۳۰	۳۹/۳۲	۵۰/۶۳	۳۰۲۱b
	SEM		۰/۵۴۵	۰/۵۷۰	۰/۸۱۶	۱/۲۰۶	۱/۱۴۴	۲۳/۱
	P-value (فاکتوریل ۲ × ۳)							
	ترئونین		۰/۳۲۶	۰/۰۰۶	۰/۷۹۵	۰/۹۰۴	۰/۸۵۳	۰/۷۴۰
	تعادل الکترولیتی جیره		۰/۸۸۶	۰/۰۶۸	۰/۶۸۵	۰/۷۳۹	۰/۴۱۶	۰/۰۲۴
	ترئونین × تعادل الکترولیتی جیره		۰/۸۸۹	۰/۸۹۸	۰/۹۳۷	۰/۹۰۳	۰/۹۰۰	۰/۹۹۸

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

واکاوی آماری داده‌ها: داده‌های گروه‌های آزمایشی به استثنای گروه شاهد به روش فاکتوریل ۲×۳ توسط نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱) و با استفاده از رویه GLM تجزیه شدند. داده‌های هفت گروه، از جمله گروه شاهد برای یک طرح کاملاً تصادفی تجزیه شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی و در سطح ۵ درصد مقایسه شدند.

مدل آماری طرح فاکتوریل به صورت زیر بود:

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

در این رابطه، Y_{ijl} نشان دهنده مقدار عددی هر مشاهده در آزمایش، μ میانگین مشاهدات، A_i نشان دهنده اثرات سطح ترئونین و B_j نشان دهنده اثر تعادل الکترولیتی جیره، AB_{ij} اثر متقابل سطح ترئونین و تعادل الکترولیتی جیره و e_{ijl} اثر خطای آزمایشی می‌باشد.

مدل آماری طرح کاملاً تصادفی به صورت زیر بود:

$$Yij = \mu + Ti + eij$$

در این رابطه، Yij، مقدار مشاهده تیمار i ام در تکرار jام؛ μ، میانگین صفت؛ Ti، اثر تیمار i ام و eij، اثر خطای آزمایشی است.

نتایج

عملکرد رشد: اثرات تعادل الکترولیتی و سطوح ترئونین جیره بر عملکرد تولیدی در جدول ۲ گزارش شده است. نتایج حاصل نشان داد که تیمارهای آزمایشی اثر معنی‌داری بر خوراک مصرفی و میزان یکنواختی جوجه‌های گوشتی نداشتند ($P>0/05$). گروه شاهد (حاوی سطح توصیه شده ترئونین با تعادل الکترولیتی ۲۵۰ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم جیره در شرایط دمایی مطلوب) وزن بدن بالاتری نسبت به همه گروه‌های تحت تنش حرارتی به استثنای گروه‌های دارای تعادل الکترولیتی ۱۷۵ نشان دادند ($P<0/05$). همچنین گروه با تعادل الکترولیتی ۱۷۵ و ترئونین ۱۰ درصد بالاتر از سطح توصیه شده افزایش معنی‌داری در وزن بدن نسبت به گروه با

ترئونین در سطح توصیه شده و تعادل الکترولیتی ۳۲۵ نشان دادند ($P<۰/۰۵$)، ولی تفاوت معنی‌داری با سایر گروه‌های آزمایشی نداشت. همچنین گروه‌های شاهد و گروه با تعادل الکترولیتی ۱۷۵ و ترئونین ۱۰ درصد بالاتر از سطح توصیه شده نسبت به گروه‌های با تعادل الکترولیتی ۳۲۵ راندمان مصرف خوراک بالاتری داشتند ($P<۰/۰۵$). همچنین افزایش شاخص عملکرد در تیمارهای شاهد و تیمارهای دارای تعادل الکترولیتی ۱۷۵ در مقایسه با تیمارهای دارای تعادل الکترولیتی ۳۲۵ مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). اثر سطح ترئونین و اثر متقابل آن با تعادل الکترولیتی بر افزایش وزن، خوراک مصرفی، راندمان مصرف خوراک، میزان یکنواختی و شاخص عملکرد در دوره ۱ تا ۴۲ روزگی معنی‌دار نبود ($P>۰/۰۵$). البته یک تمایل به افزایش میزان یکنواختی در پرندگانی که جیره‌های حاوی ترئونین ۱۰ درصد بالاتر از سطح توصیه شده تغذیه شدند مشاهده شد ($P=۰/۰۸۴$). در مورد تأثیر سطوح مختلف تعادل الکترولیتی جیره، تعادل پایین جیره، تمایل به بهبود افزایش وزن بدن ($P=۰/۰۵۵$) و راندمان مصرف خوراک ($P=۰/۰۵۴$) را در شرایط تنش حرارتی نشان دادند. همچنین شاخص عملکرد تفاوت معنی‌داری را در بین گروه‌های مختلف تعادل الکترولیتی جیره نشان داد؛ به‌طوری‌که بالاترین شاخص عملکرد در تیمار با سطح پایین تعادل الکترولیتی مشاهده شد ($P<۰/۰۵$).

فراسنجه‌های ریخت‌شناسی ژژنوم: در مورد فراسنجه‌های مورفولوژیکی ژژنوم (جدول ۳)، پرنده‌های تیمار شاهد طول پرز بالاتری نسبت به همه تیمارهای آزمایشی به استثنای تیمارهای دارای سطح بالای ترئونین (با هر سطح تعادل الکترولیتی) نشان دادند ($P<۰/۰۵$). همچنین گروه شاهد عرض پرز بالاتری در مقایسه به همه تیمارهای آزمایشی تحت شرایط تنش حرارتی داشت ($P<۰/۰۵$). نسبت طول پرز به عمق کریپت در همه تیمارهای آزمایشی به استثنای تیمار با ترئونین ۱۰ درصد بالاتر از سطح توصیه شده و تعادل الکترولیتی ۲۵۰ نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت ($P<۰/۰۵$). همچنین کمترین نسبت طول پرز به عمق کریپت در تیمار با ترئونین سطح توصیه شده و تعادل الکترولیتی ۳۲۵ مشاهده شد که فقط با تیمار شاهد و تیمار با ترئونین ۱۰ درصد بالاتر از سطح توصیه شده و تعادل الکترولیتی ۲۵۰ اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P<۰/۰۵$). سطح جذبی پرزها نیز در همه گروه‌های آزمایشی نسبت به گروه شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد ($P<۰/۰۵$).

در بین تیمارهای آزمایشی تحت شرایط تنش حرارتی، افزایش در سطح جذبی پرزها در تیمار با ترئونین ۱۰ درصد بالاتر از سطح توصیه شده و تعادل الکترولیتی ۲۵۰ نسبت به تیمار با سطح ترئونین توصیه شده و تعادل الکترولیتی ۱۷۵ مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). تمایل به کاهش طول پرز ($P=۰/۰۶۳$) و سطح جذبی پرزها ($P=۰/۰۸۴$) با افزایش تعادل الکترولیتی جیره مشاهده شد. اثرات اصلی سطح ترئونین بر طول پرز، نسبت طول پرز به عمق کریپت و سطح جذبی پرزها نیز معنی‌دار بود؛ به‌طوری‌که افزایش سطح ترئونین جیره در شرایط تنش حرارتی سبب افزایش این فراسنجه‌ها گردید ($P<۰/۰۵$).

جمعیت میکروبی سکوم: اثرات تیمارهای مختلف آزمایشی بر جمعیت میکروبی (log10 CFU/g) در سکوم جوجه‌های گوشتی در جدول ۴ نشان داده شده است. جمعیت بالاتر لاکتوباسیل‌ها و جمعیت کمتر کلی‌فرم‌ها، *اشرشیاکلی* و کلستریدیوم‌ها در تیمار شاهد در مقایسه با تیمارهای آزمایشی تحت شرایط تنش حرارتی مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). همچنین تیمار شاهد افزایش معنی‌دار جمعیت بیفیدوباکتریوم را در مقایسه با همه تیمارهای آزمایشی به استثنای تیمارهای با ترئونین ۱۰ درصد بالاتر از سطح توصیه شده و تعادل الکترولیتی ۱۷۵ یا ۲۵۰ نشان دادند ($P<۰/۰۵$). همچنین با افزایش سطح ترئونین جیره جمعیت لاکتوباسیل‌ها و بیفیدوباکتریوم افزایش یافت ($P<۰/۰۵$). اثر اصلی سطح تعادل الکترولیتی جیره و اثرات متقابل آن با سطح ترئونین جیره بر این فراسنجه‌های ذکر شده معنی‌دار نبود ($P>۰/۰۵$).

قابلیت هضم مواد مغذی: اثرات سطوح ترئونین جیره و تعادل الکترولیتی جیره بر قابلیت هضم مواد مغذی و AMEn در جوجه‌های گوشتی در شرایط تنش گرمایی در جدول ۵ گزارش شده است. نتایج نشان داد اثر تیمارهای آزمایشی بر قابلیت هضم پروتئین معنی‌دار بوده است ($P<۰/۰۵$)؛ به‌طوری‌که گروه شاهد نسبت به همه گروه‌ها به استثنای گروه‌های با ترئونین ۱۰ درصد بالاتر از سطح توصیه شده و تعادل الکترولیتی ۱۷۵ یا ۲۵۰، قابلیت هضم بالاتری داشتند. همچنین قابلیت هضم پروتئین در گروه با ترئونین ۱۰ درصد بالاتر از سطح توصیه شده و تعادل الکترولیتی ۱۷۵ نسبت به گروه با سطح ترئونین توصیه شده و تعادل الکترولیتی ۳۲۵ افزایش معنی‌داری نشان داد ($P<۰/۰۵$). قابلیت هضم فسفر در تیمار شاهد نسبت به همه تیمارهای آزمایشی تحت تنش

حرارتی افزایش معنی‌دار نشان داد ($P<۰/۰۵$). تیمار شاهد در مقایسه با همه تیمارهای آزمایشی به استثنای تیمار با سطح ترئونین توصیه شده و تعادل الکترولیتی ۲۵۰ افزایش معنی‌داری را در قابلیت هضم انرژی نشان دادند ($P<۰/۰۵$). مقادیر AMEn در تیمار شاهد افزایش معنی‌داری را نسبت به تیمارهای با تعادل الکترولیتی ۳۲۵ و سطح ترئونین توصیه شده یا ۱۰ درصد بالاتر از سطح توصیه شده نشان دادند ($P<۰/۰۵$)؛ ولی با سایر تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری نداشتند. قابلیت هضم ماده خشک، چربی و کلسیم تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت. هیچ اثر متقابلی بین سطح ترئونین و سطح تعادل الکترولیتی جیره بر قابلیت هضم مواد مغذی و میزان AMEn مشاهده نشد. افزایش سطح ترئونین جیره سبب افزایش قابلیت هضم پروتئین گردید ($P<۰/۰۵$). همچنین قابلیت هضم انرژی و مقدار AMEn با افزایش تعادل الکترولیتی جیره کاهش یافت ($P<۰/۰۵$).

بحث

اثرات نامطلوب تنش حرارتی بر فراسنجه‌های عملکرد رشد شامل افزایش وزن، راندمان مصرف خوراک و شاخص عملکرد جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی در کل دوره آزمایشی در مطالعه حاضر با مطالعات قبلی (۳۲-۲۹) مطابقت داشت. در حیوانات تحت تنش گرمایی، انرژی بیشتری برای سازگاری با شرایط تنش صرف می‌شود، بنابراین انرژی کمتری برای رشد مصرف خواهد شد که منجر به کاهش عملکرد رشد می‌گردد (۱). همچنین گزارش شده است که تنش گرمایی بر متابولیسم مواد مغذی از جمله گلوکز، لیپیدها، الیگوپپتیدها و اسیدهای آمینه از طریق تغییر بیان mRNA ناقل آن‌ها در بافت‌های مربوطه تأثیر منفی می‌گذارد (۶)، که می‌تواند عملکرد ضعیف جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی را توضیح دهد. همان‌طور که نتایج افزایش وزن بدن، راندمان مصرف خوراک و شاخص عملکرد نشان داد با اضافه کردن ترئونین به خصوص به میزان ۱۰ درصد بالاتر از سطح توصیه شده راس در شرایط تنش حرارتی عملکرد بهبود یافت که این می‌تواند از اثرات مثبت افزودن اسید آمینه ترئونین بر سلامت دستگاه گوارش (جدول ۳،۴) و بهبود قابلیت هضم پروتئین (جدول ۵) در مطالعه حاضر باشد. Zarrin-Kavyani در سال ۲۰۱۸ خوراک مصرفی بالاتر در طول رشد، وزن بدن بالاتر در طول دوره رشد و کل دوره آزمایش و ضریب تبدیل خوراک بهتر در طول دوره آغازین و رشد را در جوجه‌های گوشتی که ۱۰ درصد ترئونین اضافی دریافت کردند مشاهده نمودند (۳۳). همچنین در مطالعه دیگر میانگین افزایش وزن روزانه و ضریب تبدیل خوراک در کل دوره آزمایش (۰ تا ۴۲ روز) در جوجه‌های گوشتی با افزایش ترئونین جیره از ۸۵ به ۱۲۰ درصد سطح توصیه NRC بهبود یافت (۳۴). در مطالعه‌ای گزارش شد که ترئونین تأمین شده از مکمل ال-ترئونین در مقایسه با ترئونین موجود در مواد خوراکی جیره دسترسی بالاتری برای اهداف رشد در جوجه‌های گوشتی دارد (۲۲). همچنین در شرایط تنش حرارتی، بهبود عملکرد رشد در جوجه‌های گوشتی سویه Vencobb- 400 که جیره‌های با سطوح ۱۱۰ و ۱۲۰ درصد توصیه شده ترئونین (دستورالعمل تغذیه‌ای سویه تجاری) تغذیه شدند، مشاهده شد (۲۵). به نظر می‌رسد این بهبود در عملکرد به نقش ترئونین مرتبط باشد که برای سنتز پروتئین و حفظ سوخت و ساز پروتئین بدن لازم است. در مقایسه با سایر اسیدهای آمینه، جوجه‌های گوشتی به دلیل سرعت سوخت و ساز بالا و ترشحات زیاد روده، نیاز به ترئونین بالایی برای نگهداری دارند (۳۵). همچنین مشخص شده است که نیاز ترئونین جوجه‌های گوشتی تحت تأثیر عواملی همانند مقدار پروتئین جیره، نژاد و شرایط پرورش پرنده تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۳۶،۳۷). بنابراین در شرایط دمای بالای محیطی که نیاز به مواد مغذی برای نگهداری به دلیل دفع بالاتر آن افزایش می‌یابد و از طرفی افزایش تجزیه پروتئین باعث عدم تعادل اسیدهای آمینه و تغییر در سیستم انتقال آن‌ها در بدن می‌شود، افزودن مکمل ترئونین به جیره می‌تواند منجر به بهبود ساخت پروتئین و در نتیجه بهبود رشد گردد.

از آنجایی‌که جوجه‌ها در شرایط تنش گرمایی در معرض آلکالوز تنفسی قرار می‌گیرند به نظر می‌رسد افزایش مصرف بی‌کربنات سدیم یا بی‌کربنات پتاسیم که منجر به افزایش تعادل الکترولیتی جیره می‌شود، آلکالوز تنفسی را تشدید می‌کند. بنابراین با توجه به بررسی اثرات اصلی تیمارها در مطالعه حاضر کمترین شاخص عملکرد مربوط به گروه حاوی تعادل الکترولیتی ۳۲۵ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم بود که با افزودن بی کربنات پتاسیم از ۰/۸۸ درصد در جیره رشد و ۰/۹۵ درصد در جیره پایانی به دست آمد. در مطالعه‌ای در جوجه‌های گوشتی گزارش شد که کاهش تعادل الکترولیتی جیره با افزایش غلظت کلرید

جیره با حذف بی‌کربنات خون می‌تواند باعث کاهش pH خون و حتی اسیدوز متابولیک شود (۱۲). بنابراین، در مطالعه حاضر، کاهش سطح تعادل الکترولیت به میزان ۱۷۵ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم جیره حاصل از مصرف کلرید آمونیوم باعث بهبود رشد و بازده غذایی شد.

در مطالعه حاضر، کاهش ارتفاع پرز، عمق کریپت بیشتر، و سطح جذبی پایین‌تر در جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی مشاهده شد که در تطابق با نتایج مطالعات قبلی (۸،۹) می‌باشد. در شرایط تنش گرمایی، توزیع مجدد جریان خون از قسمت مرکزی بدن به سمت محیطی منجر به کاهش جریان خون روده شده و منجر به ایسکمی (Ischemia) روده می‌شود (۷). این ایسکمی می‌تواند باعث کاهش بازسازی لایه اپیتلیال روده شود و منجر به پیدایش پرزهای کوتاه‌تر و کریپت‌های عمیق‌تر در اپتلیوم روده گردد (۳۸). در مطالعه حاضر گرچه اثر متقابل معنی‌داری بین تعادل الکترولیتی جیره و سطح ترئونین جیره در مورد هیچ یک از فاکتورهای بافت‌شناسی روده مشاهده نشد، اما بیشترین طول پرز در ژژنوم را جوجه‌های تغذیه شده با جیره حاوی سطح پایین تعادل الکترولیتی (۱۷۵ میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم جیره) و سطح بالای ترئونین جیره (۱۰ درصد بالاتر از سطح توصیه شده) نشان دادند. همچنین نتایج مطالعه حاضر نشان داد که مکمل ال-ترئونین در جیره غذایی باعث بهبود مورفولوژی روده جوجه‌های گوشتی می‌شود. این نتایج در تطابق با یافته‌های مطالعات قبلی (۲۵،۳۴،۳۹) است، زیرا ترئونین یک اسید آمینه ضروری در تولید موسین است که حدود ۴۰ درصد از پروتئین‌های دستگاه گوارش را تشکیل می‌دهد. این موسین یک پوشش نازک در قسمت داخلی روده ایجاد می‌کند و از آن در برابر عوامل بیماریزا و ضد تغذیه‌ای محافظت می‌کند (۴۰). همچنین افزایش در دسترس بودن ترئونین ممکن است سنتز موسین را تحریک کند و در نتیجه موجب محافظت و استحکام بیشتر روده و در نتیجه سلامت بهتر روده گردد (۲۲). با توجه به این‌که اندازه‌گیری نسبت طول پرز به عمق کریپت به طور کلی معرف بلوغ و ظرفیت عملکردی آنتروسیت‌ها می‌باشد و بیانگر سطح جذب روده محسوب می‌شود، با توجه به نتایج مطالعه حاضر می‌توان گفت که افزایش ترئونین جیره در شرایط تنش حرارتی عملکرد روده را به طور قابل توجهی بهبود می‌بخشد. یک تمایل به کاهش طول پرز و سطح جذبی پرزها در ژژنوم با افزایش سطح الکترولیتی مشاهده شد. به نظر می‌رسد در شرایط تنش حرارتی حفظ تعادل الکترولیت جیره در حد نرمال و یا کاهش تعادل الکترولیتی جیره می‌تواند در بهبود فراسنجه‌های بافتی روده مفید واقع شود. مطالعات محدودی در خصوص اثرات تعادل الکترولیتی جیره بر ساختار مورفولوژیک روده وجود دارد. به طور مشابه با نتایج مطالعه حاضر، در مطالعه‌ای دیگر در جوجه‌های گوشتی در شرایط تنش حرارتی مشاهده شد که تعادل الکترولیتی ۱۵۰ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم جیره بهترین نتایج را بر مورفولوژی دستگاه گوارش در مقایسه با تعادل الکترولیتی ۲۵۰ و ۳۵۰ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم جیره نشان داد (۱۸).

نشان داده شده است که جمعیت میکروبی روده می‌تواند یک عامل مهم برای سلامتی دستگاه گوارش در نظر گرفته شود. در شرایط تنش‌زا، تثبیت اکولوژی میکروبی روده مختل می‌شود (۴). در مطالعه حاضر، تنش گرمایی باعث کاهش تعداد لاکتوباسیل‌ها و بیفیدوباکتریوم و افزایش تعداد کلی‌فرم‌ها، *اشرشیاکلی* و کلستریدیوم در سکوم شد که در تطابق با یافته‌های قبلی است که تنش گرمایی سبب افزایش باکتری‌های پاتوژن و کاهش جمعیت میکروب‌های مفید می‌گردد (۴۱،۴۲). یکی از دلایل این تغییرات در جمعیت میکروبی در شرایط تنش گرمایی می‌تواند مرتبط با افزایش pH دستگاه گوارش به‌خصوص ناحیه سکوم ناشی از کاهش در تولید اسیدهای چرب فرار باشد که منجر به تغییر در الگوی جمعیت میکروبی روده می‌گردد (۴۳). همچنین یکی از دلایل اثرات منفی تنش گرمایی بر مورفولوژی روده ممکن است ناشی از تغییرات مضر در فلور میکروبی روده باشد. اگرچه در مطالعه حاضر جمعیت میکروبی سکوم جوجه‌های گوشتی تحت شرایط تنش حرارتی با تغییر تعادل الکترولیتی جیره غذایی تغییر نکرد، افزودن مکمل ترئونین به جیره غذایی موجب افزایش معنی‌دار جمعیت لاکتوباسیل‌ها و بیفیدوباکتریوم در سکوم جوجه‌های گوشتی تحت شرایط تنش حرارتی شد. در مطالعه Dong و همکاران در سال ۲۰۱۷ مشخص شد افزایش بیان ژنی موسین با افزودن مکمل ترئونین به جیره غذایی ممکن است در تغییر ترکیب میکروبی روده نقش داشته باشد، زیرا موسین‌ها در روده کوچک قابل هضم نیستند و از این طریق می‌توانند به سکوم برسند و روی جمعیت میکروبی آن تأثیر داشته باشند (۴۴). همچنین در جوجه‌ها، مکمل ترئونین تعادل میکروبی روده را از طریق تعدیل سیستم ایمنی به‌واسطه افزایش ترشح IgA و کاهش بیان

ژن‌های التهابی INF-γ و IL-1 β، تغییر می‌دهد (۳۵). بنابراین بهبود فراسنجه‌های مورفولوژیک روده همراه با افزایش تعداد جمعیت باکتری‌های تولید کننده اسید لاکتیک نظیر لاکتوباسیل‌ها و بیفیدوباکتریوم در سکوم پرندگان تغذیه شده با جیره غذایی با ترئونین بیش از حد نیاز در مطالعه حاضر، نشان دهنده رابطه بین ترئونین جیره غذایی و پویایی موسین روده، میکروفلور و رشد لایه مخاطی روده است.

محققین نشان دادند که درجه حرارت بالای محیطی ممکن است با افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال و تخریب سلولی بافت روده منجر به کاهش قابلیت هضم مواد مغذی شود (۴۵). همچنین کاهش در قابلیت هضم پروتئین در شرایط تنش گرمایی مزمن توسط محققین گزارش شد (۴۶). از طرفی، ثابت شد که فعالیت آنزیم‌های پروتئاز، تریپسین، و آمیلاز نیز در شرایط تنش گرمایی چرخشی (دمای ۳۳ درجه سانتی‌گراد برای ۸ ساعت در روز در کل دوره) به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (۴۷)، که این موضوع می‌تواند کاهش قابلیت هضم پروتئین و انرژی و همچنین کاهش AMEn توسط تنش حرارتی را در مطالعه حاضر توجیه کند. ترئونین اسید آمینه اصلی در موسین روده است. این گلیکوپروتئین نقش مهمی در حفظ روده و محافظت از آن در برابر اسیدیته شیرابه هضمی، آنزیم‌های گوارشی و پاتوژن‌ها دارد. علاوه بر این، موسین در فیلتر مواد مغذی در دستگاه گوارش نقش دارد و از این طریق بر هضم و جذب مواد مغذی تأثیر می‌گذارد (۴۸،۴۹). به نظر می‌رسد در مطالعه حاضر، بهبود قابلیت هضم پروتئین با افزایش ترئونین جیره احتمالاً نتیجه‌ای از بهبود در ساختار موروفولوژیکی روده باشد. اگرچه تا کنون گزارشی در مورد اثرات تعادل الکترولیتی جیره در شرایط تنش گرمایی بر قابلیت هضم خوراک ارائه نشده است، اما مطالعات زیادی به تأثیر منفی مقادیر بالای تعادل الکترولیتی جیره بر قابلیت هضم اجزای خوراکی جیره جوجه‌های گوشتی اشاره کرده‌اند. تغییرات در تعادل الکترولیتی جیره ممکن است از طریق تغییر در pH روده بر قابلیت هضم مواد مغذی تأثیر بگذارد (۵۰). در معده، pH پایین فعالیت آنزیم‌های پروتئولیتیک را افزایش می‌دهد و دناتوراسیون پروتئین را افزایش می‌دهد (۵۱). علاوه بر این شرایط اسیدی باعث بهبود قابلیت هضم نه تنها پروتئین، بلکه سایر مواد مغذی نیز می‌شود. در مطالعه حاضر با افزایش سطح تعادل الکترولیتی جیره، کاهش قابلیت هضم انرژی جیره و AMEn و همچنین تمایل به کاهش قابلیت هضم پروتئین مشاهده شد. با وجود تأثیر تعادل الکترولیتی جیره بر قابلیت هضم پروتئین و انرژی، قابلیت هضم چربی در جوجه‌های گوشتی تحت شرایط تنش حرارتی تحت تأثیر سطوح مختلف تعادل الکترولیتی جیره قرار نگرفت. این بدان معنی است که نقش اصلی تعادل الکترولیتی جیره در تغییر شرایط معده و نقش کمتر در شرایط روده ممکن است در عدم تأثیرگذاری تعادل الکترولیتی در هضم چربی دخیل باشد، زیرا هضم چربی در روده رخ می‌دهد. قابلیت هضم کلسیم و فسفر نیز تحت تأثیر سطوح مختلف تعادل الکترولیتی جیره قرار نگرفت که به نظر می‌رسد آزاد سازی فسفر و کلسیم از فیتات توسط سطوح مختلف تعادل الکترولیتی تحت تأثیر قرار نگرفته است. این موضوع نشان می‌دهد که که تعادل الکترولیتی جیره ممکن است به جای هیدرولیز، در الگوهای جذب مواد مغذی مؤثر باشد.

نتیجه‌گیری نهایی: اگرچه اثر متقابلی بین تعادل الکترولیتی و سطح ترئونین جیره در مطالعه حاضر مشاهده نشد، اما تعادل الکترولیتی پایین جیره (۱۷۵ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم) در مقایسه با سطح بالای تعادل الکترولیتی (۳۲۵ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم جیره) اثرات مفید بر بهبود شاخص عملکرد و انرژی متابولیسمی در جوجه‌های گوشتی تحت شرایط تنش حرارتی داشت. همچنین بر اساس نتایج مطالعه حاضر، افزودن ۱۰ درصد ترئونین بالاتر از سطح توصیه شده تجاری در جیره برای بهبود مورفولوژی روده و قابلیت هضم جوجه‌های گوشتی در شرایط تنش گرمایی توصیه می‌گردد.

سپاسگزاری

هزینه و امکانات مورد استفاده در مطالعه حاضر از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه اراک (طرح شماره ۹۸/۳۸۴۰) تأمین شده است که بدین وسیله مراتب قدردانی اعلام می‌گردد.

تعارض منافع

بین نویسندگان تعارض در منافع گزارش نشده است.

References

1. Quinteiro-Filho WM, Ribeiro A, Ferraz-de-Paula V, Pinheiro ML, Sakai M, Sá LRM, Ferreira AJP, Palermo-Neto J. Heat stress impairs performance parameters, induces intestinal injury, and decreases macrophage activity in broiler chickens. Poult Sci. 2010; 89(9): 1905-14. doi: 10.3382/ps.2010-00812 PMID: 20709975
2. Hassanzadeh M, Moghimi Niaki A, Babapour V, Mohit A, Mirzaie S. A study of the employment of melatonin supplementation and darkness regime on reducing the negative effects of acute heat stress and mortality in broiler chickens. Iran J Vet Med. 2016; 10(1): 7-17. doi: 10.22059/ijvm.2016.57045
3. Awad EA, Zulkifli I, Ramiah SK, Khalil ES, Abdallh ME. Prebiotics supplementation: an effective approach to mitigate the detrimental effects of heat stress in broiler chickens. Worlds Poult Sci J. 2021; 77(1): 135-51. doi: 10.1080/00439339.2020.1759222
4. Shi D, Bai L, Qu Q, Zhou S, Yang M, Guo S, Li Q, Liu C. Impact of gut microbiota structure in heat-stressed broilers. Poult Sci. 2019; 98(6): 2405-13. doi: 10.3382/ps/pez026 PMID: 30715508
5. Rostami L, Taherpour K, Akbari Gharaei M, Ghasemi HA, Jamali J. Effects of different levels of *thymus vulgaris* extract in comparison with antibiotics, vitamin C and vitamin E on performance, blood biochemistry and antibody response in broiler chickens under heat stress condition. J Vet Res (In Persian). 2020; 75(1): 26-37. doi: 10.22059/JVR.2019.253178.2769
6. Cheng Y, Du M, Xu Q, Chen Y, Wen C, Zhou Y. Dietary mannan oligosaccharide improves growth performance, muscle oxidative status, and meat quality in broilers under cyclic heat stress. J Therm Biol. 2018; 75: 106-111. doi: 10.1016/j.jtherbio.2018.06.002 PMID: 30017045
7. Amiri M, Ghasemi HA, Hajkhodadadi I, Khaltabadi Farahani AH. 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. 2019; 254: 114208. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2019.114208
8. Awad EA, Idrus Z, Soleimani Farjam A, Bello AU, Jahromi MF. Growth performance, duodenal morphology and the caecal microbial population in female broiler chickens fed glycine-fortified low protein diets under heat stress conditions. Br Poult Sci. 2018; 59(3): 340-48. doi: 10.1080/00071668.2018.1440377 PMID: 2943333
9. Yi D, Hou Y, Tan L, Liao M, Xie J, Wang L, Ding B, Yang Y, Gong J. N-acetylcysteine improves the growth performance and intestinal function in the heat-stressed broilers. Anim Feed Sci Technol. 2016; 220: 83-92. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2016.07.014
10. Awad EA, Najaa M, Zulaikha ZA, Zulkifli I, Soleimani AF. 2020. Effects of heat stress on growth performance, selected physiological and immunological parameters, caecal microflora, and meat quality in two broiler strains. Asian-Australasian J Anim Sci. 2020; 33(5): 778-7787. doi: 10.5713/ajas.19.0208 PMID: 31480196
11. Belay T, Teeter RG. Effects of ambient temperature on broiler mineral balance partitioned into urinary and faecal loss. Br Poult Sci. 1996; 37(2): 423-33. doi: 10.1080/00071669608417873 PMID: 8773851
12. Borges SA, Fischer Da Silva AV, Majorka A, Hooge DM, Cummings KR. Physiological responses of broiler chickens to heat stress and dietary electrolyte balance (sodium plus potassium minus chloride, milliequivalents per kilogram). Poult Sci. 2004; 83(9): 1551-8. doi: 10.1093/ps/83.9.1551 PMID: 15384907
13. de Moraes MTT, da Rocha C, Moreno TB, Surek D, Borges SA, Maiorka A. Effect of different dietary electrolyte balance values at high temperature peaks on performance and egg quality of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). J Appl Poult Res. 2019; 28(4): 1234-39. doi: 10.3382/japr/pfz089
14. Mongin P. Recent advances in dietary anion-cation balance: applications in poultry. Proc Nutr Soc. 1981; 40(3): 285-94. doi: 10.1079/pns19810045 PMID: 7301833
15. Borges SA, Da Silva AVF, Maiorka A. Acid-base balance in broilers. Worlds Poult Sci J. 2007; 63(1): 73-81. doi: 10.1079/WPS2005128
16. Sayed MAM, Downing J. Effects of dietary electrolyte balance and addition of electrolyte–betaine supplements in feed or water on performance, acid–base balance and water retention in heat-stressed broilers. Br Poult Sci. 2015; 56(2): 195-209. doi: 10.1080/00071668.2014.995594 PMID: 25558900
17. Borges SA, Fischer Da Silva AV, Ariki J, Hooge DM, Cummings KR. Dietary electrolyte balance for broiler chickens exposed to thermoneutral or heat-stress environments. Poult Sci. 2003; 82(3): 428-35. doi: 10.1093/ps/82.3.428 PMID: 12705404
18. Nikoofard V, Mahdavi AH, Samie AH, Jahanian E. Effects of different sulphur amino acids and dietary electrolyte balance levels on performance, jejunal morphology, and immunocompetence of broiler chicks. J Anim Physiol Anim Nutr. 2016; 100(1): 189-99. doi: 10.1111/jpn.12316 PMID: 25808567
19. Hampson NB, Jöbsis-VanderVliet FF, Piantadosi CA. Skeletal muscle oxygen availability during respiratory acid-base disturbances in cats. Respir Physiol. 1987; 70(2): 143-58. doi: 10.1016/0034-5687(87)90046-6 PMID: 2823360
20. Brake J, Balnave D, Dibner JJ. Optimum dietary arginine:lysine ratio for broiler chickens is altered during heat stress in association with changes in intestinal uptake and dietary sodium chloride. Br Poult Sci. 1998; 39(5): 639-47. doi: 10.1080/00071669888511 PMID: 9925317
21. Patience JF, Austic RE, Boyd RD. Effect of dietary electrolyte balance on growth and acid-base status in swine. J Anim Sci. 1987; 64(2): 457-66. doi: 10.2527/jas1987.642457x PMID: 3030993
22. Ahmad I, Qaisrani SN, Azam F, Pasha TN, Bibi F, Naveed S, Murtaza S. Interactive effects of threonine levels and protein source on growth performance and carcass traits, gut morphology, ileal digestibility of protein and amino acids, and immunity in broilers. Poult Sci. 2020; 99: 280-89. doi: 10.3382/ps/pez488 PMID: 32416812
23. Corzo A, Kidd MT, Dozier WA, Pharr GT, Koutsos EA. Dietary threonine needs for growth and immunity of broilers raised under different litter conditions. J Appl Poult Res. 2007; 16(4): 574-82. doi: 10.3382/japr.2007-00046

24. Eftekhari A, Rezaeipour V, Abdullahpour R. Effects of acidified drinking water on performance, carcass, immune response, jejunum morphology, and microbiota activity of broiler chickens fed diets containing graded levels of threonine. Livest Sci. 2015; 180: 158-63. doi: 10.1016/j.livsci.2015.07.010
25. Debnath BC, Biswas P, Roy B. The effects of supplemental threonine on performance, carcass characteristics, immune response and gut health of broilers in subtropics during pre-starter and starter period. J Anim Physiol Anim Nutr. 2019; 103(1), 29-40. doi: 10.1111/jpn.12991 PMID: 30264514
26. Mehdipour Z, Golian A, Nassiri-Moghadam H, Javadmanesh A. Effect of threonine supplementation on growth performance, metabolizable energy, morphological changes and immune response in broiler chickens challenged with coccidia. Poult Sci J. 2020; 8(1): 95-107. doi: 10.22069/psj.2020.17615.1543
27. NRC. Nutrient Requirements of Poultry. 9th ed., National Academy Press, Washington, DC, USA. 1994.
28. Kheiri F, Alibeyghi M. Effect of different levels of lysine and threonine on carcass characteristics, intestinal microflora and growth performance of broiler chicks. Ital J Anim Sci. 2017; 16(4): 580-87. doi: 10.1080/1828051X.2017.1302824
29. Bai X, Dai S, Li J, Xiao S, Wen A, Hu H. Glutamine improves the growth performance, serum biochemical profile and antioxidant status in broilers under medium-term chronic heat stress. J Appl Poult Res. 2019; 28(4): 1248-54. doi: 10.3382/japr/pfz091
30. Safamehr A, Narimani M, Nobakhat A. Effects of electrolyte balance and dietary protein levels on production performance and carcass parameters in broiler chickens exposed to heat stress. J Vet Res (In Persian). 2012; 67(3): 408-20. doi: 10.22059/JVR.2012.28509
31. Eidi M, Ghasemi HA, Hajkhodadadi I, Moradi MH. Effects of water supplementation of a chelated trace mineral blend on growth performance, blood parameters, antioxidant status, and immune response of broilers under heat stress conditions. J Vet Res (In Persian). 2021; 76(4): 408-420. doi:10.22059/JVR.2021.320249.3140
32. Ghasemi HA, Nari N. Effect of supplementary betaine on growth performance, blood biochemical profile, and immune response in heat-stressed broilers fed different dietary protein levels. J Appl Poult Res. 2020; 29(2): 301-13. doi: 10.1016/j.japr.2019.11.004
33. Zarrin-Kavyani SH, Khatibjoo A, Fattahnia F, Taherpour K. Effect of threonine and potassium carbonate supplementation on performance, immune response and bone parameters of broiler chickens. J Appl Anim Res. 2018; 46(1): 1329-35. doi: 10.1080/09712119.2018.1505619
34. Min YN, Liu SG, Qu ZX, Meng GH, Gao YP. Effects of dietary threonine levels on growth performance, serum biochemical indexes, antioxidant capacities, and gut morphology in broiler chickens. Poult Sci. 2017; 96(5): 1290-97. doi: 10.3382/ps/pew393 PMID: 27794053
35. Bortoluzzi C, Rochell SJ, Applegate TJ. Threonine, arginine, and glutamine: Influences on intestinal physiology, immunology, and microbiology in broilers. Poult Sci. 2018; 97(3): 937-45. doi: 10.3382/ps/pex394 PMID: 29294123
36. Barkley GR, Wallis IR. Threonine requirements of broiler chickens: why do published values differ? Br Poult Sci. 2001; 42(5): 610-15. doi: 10.1080/00071660120088425 PMID: 11811912
37. Feizi A, Dadian F, Asadzadehmajdi S. The effect of heat stress on some blood parameters, biochemical values and humoral immunity in broiler chickens. J Vet Clin Pathol (In Persian). 2012; 6: 1621-27.
38. Shakeri M, Cottrell JJ, Wilkinson S, Ringuet M, Furness JB, Dunshea FR. Betaine and antioxidants improve growth performance, breast muscle development and ameliorate thermoregulatory responses to cyclic heat exposure in broiler chickens. Animals. 2018; 8(10): 162. doi: 10.3390/ani8100162 PMID: 30257522
39. Saadatmand N, Toghyani M, Gheisari A. Effects of dietary fiber and threonine on performance, intestinal morphology and immune responses in broiler chickens. Anim Nutr. 2019; 5(3): 248-55. doi: 10.1016/j.aninu.2019.06.001 PMID: 31528726
40. Li P, Yin YL, Li D, Kim WS, Wu G. Amino acids and immune function. Br J Nutr. 2007; 98(2): 237-52. doi: 10.1017/S000711450769936X PMID: 17403271
41. Abdelqader A, Al-Fataftah AR. Effect of dietary butyric acid on performance, intestinal morphology, microflora composition and intestinal recovery of heat-stressed broilers. Livest Sci. 2016; 183: 78-83. doi: 10.1016/j.livsci.2015.11.026
42. Song J, Xiao K, Ke YL, Jiao LF, Hu CH, Diao QY, Shi B, Zou XT. Effect of a probiotic mixture on intestinal microflora, morphology, and barrier integrity of broilers subjected to heat stress. Poult Sci. 2014; 93(3): 581-88. doi: 10.3382/ps.2013-03455 PMID: 24604851
43. Jahromi MF, Altaher YW, Shokryazdan P, Ebrahimi R, Ebrahimi M, Idrus Z, Tufarelli V, Liang JB. Dietary supplementation of a mixture of Lactobacillus strains enhances performance of broiler chickens raised under heat stress conditions. Int J Biometeorol. 2016; 60(7): 1099-110. doi: 10.1007/s00484-015-1103-x PMID: 26593972
44. Dong XY, Azzam MMM, Zou XT. Effects of dietary threonine supplementation on intestinal barrier function and gut microbiota of laying hens. Poult Sci. 2017; 96(10): 3654-63. doi: 10.3382/ps/pex185 PMID: 28938780
45. Zhang S, Ou J, Luo Z, Kim IH. Effect of dietary β-1,3-glucan supplementation and heat stress on growth performance, nutrient digestibility, meat quality, organ weight, ileum microbiota, and immunity in broilers. Poult Sci.2020; 99(10): 4969-77. doi: 10.1016/j.psj.2020.06.036 PMID: 32988533
46. de Souza LFA, Espinha LP, de Almeida EA, Lunedo R, Furlan RL, Macari M. How heat stress (continuous or cyclical) interferes with nutrient digestibility, energy and nitrogen balances and performance in broilers. Livest Sci. 2016; 192: 39-43. doi: 10.1016/j.livsci.2016.08.014
47. Ghasemi R, Ghasemi HA, Hajkhodadadi I, Khodaei-Motlagh M. Efficacy of a phytonutrient supplement at different dietary protein contents on growth performance, gut morphology, digestive enzymes activities and stress indicators of broilers subjected to circular heat stress. Anim Prod Sci. 2021; 61(16): 1659-71. doi: 10.1071/AN20257
48. Chee SH, Iji PA, Choct M, Mikkelsen LL, Kocher A. Functional interactions of manno-oligosaccharides with dietary threonine in chicken gastrointestinal tract. II. Mucosal development, mucin dynamics and nutrient utilisation. Br Poult Sci. 2010; 51(5): 667-76. doi: 10.1080/00071668.2010.517515 PMID: 21058071
49. Smirnov A, Tako E, Ferket PR, Uni Z. Mucin gene

expression and mucin content in the chicken intestinal goblet cells are affected by in ovo feeding of carbohydrates. Poult Sci. 2006; 85(4): 669-73. doi: 10.1093/ps/85.4.669 PMID: 16615351

50. Patience JF. A review of the role of acid-base balance in amino acid nutrition. J Anim Sci. 1990; 68(2): 398-408. doi: 10.2527/1990.682398x PMID: 2179190

51. Srisantisaeng P, Garnjanagoonchorn W, Thanachasai S, Choothesa A. Proteolytic activity from chicken intestine and pancreas: Extraction, partial characterization and application for hyaluronic acid separation from chicken comb. J Sci Food Agric. 2013; 93(13): 3390-94. doi: 10.1002/jsfa.6217 PMID: 23653246

Journal of Veterinary Research
J Vet Res, Volume 77, Number 2, 2022
Original Article

Effects of Dietary Electrolyte Balance and Digestible Threonine on Intestinal Morphology, Microbial Oopulation and Digestibility of Broilers Subjected to Heat Stress Conditions

Hossein Ali Ghasemi

Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Markazi, Iran

10.22059/jvr.2022.344517.3271
Received: *20 April 2022*, ***Accepted:*** *15 June 2022*

Abstract

BACKGROUND: Reducing the protein and amino acid content of diet or altering the dietary electrolyte balance were suggested as the effective strategies to prevent the harmful effects of the heat stress in poultry**.**

OBJECTIVES: This study surveyed the effects of various levels of threonine and dietary cation-anion balance on the broiler chickens under the heat stress conditions.

METHODS: 700 one-day-old male broilers (Ross 308) were used for 6 weeks under high- temperature conditions. This experiment was conducted using a 2 × 3 + 1 factorial experiment based on a completely randomized design, with 7 treatments (5 replicates per treatment and 20 birds per replicate). Experimental factors included two threonine concentrations (recommended level and 10 % above recommended level) and three dietary electrolyte balances (175, 250, and 325 mEq/kg). The control group considered the treatment with a normal threonine concentration (recommended level) and a dietary electrolyte balance of 250 mEq/kg under optimal temperature conditions.

RESULTS: Although there was no interaction between threonine level and electrolyte balance, the electrolyte balance of 175 meq/kg increased the performance index compared to the electrolyte balance of 250 or 325 mEq/kg (P<0.05). The villus height to crypt depth ratio and villus surface area in the jejunum improved with an electrolyte balance of 175 or 250 mEq/kg (P<0.05). A decrease in the dietary electrolyte balance increased in the nitrogen-corrected apparent metabolizable energy (P<0.05). Besides, an increase in the population of lactobacilli and bifidobacteria in the cecum, as well as an increase in protein digestibility, were observed by increasing levels of threonine in the diet (P<0.05).

CONCLUSIONS: Based on these results, a high level of threonine or a low electrolyte balance in diet (175 mEq/kg) may improve the performance, metabolizable energy, and intestinal microbial flora of broilers reared under heat stress.

Keywords: Broilers, Heat stress, Electrolyte balance, Threonine, Gut health

Copyright © 2022. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution- 4.0 International License which permits Share, copy and redistribution of the material in any medium or format or adapt, remix, transform, and build upon the material for any purpose, even commercially.

Corresponding author's email: h-ghasemi@araku.ac.ir Tel/Fax: 086-32623620/086-32770050

How to cite this article:

Ghasemi H. Effects of Dietary Electrolyte Balance and Digestible Threonine on Intestinal Morphology, Microbial Oopulation and Digestibility of Broilers Subjected to Heat Stress Conditions. J Vet Res, 2022; 77(2): 63-78. doi: 10.22059/jvr.2022.344517.3271

Figure Legends and Table Captions

Table 1. Feed and chemical composition of diets during different experimental periods.

Table 2. The effects of dietary threonine levels and dietary electrolyte balance on the productive performance of broiler chickens under heat stress (HS) conditions. Means within a column with different superscripts significantly differ (P<0.05).

Table 3. The effects of dietary threonine levels and dietary electrolyte balance on the jejunum morphological parameters in broiler chickens under heat stress (HS) conditions. Means within a column with different superscripts significantly differ (P<0.05).

Table 4. The effects of dietary threonine levels and dietary electrolyte balance on the cecum bacterial population (log_{10} CFU/g) in broiler chickens under heat stress (HS) conditions. Means within a column with different superscripts significantly differ (P<0.05).

Table 5. The effects of dietary threonine levels and dietary electrolyte balance on the nutrient digestibility and nitrogen-corrected apparent metabolizable energy (AMEn) in broiler chickens under heat stress (HS) conditions. Means within a column with different superscripts significantly differ (P<0.05).