



توليدات دامی

دوره ۲۴ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱

صفحه‌های ۸۱-۹۵

DOI: 10.22059/jap.2022.331536.623643

مقاله پژوهشی

اثر فیتاز، اسید سیتریک و غلظت کلسیم بر عملکرد رشد، صفات لاشه و خصوصیات شیمیایی استخوان جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره حاوی فسفر غیرفیتات پایین

لیلا میرعیسی خانی^۱، حمیدرضا طاهری^{۲*}

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲. دانشیار، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۰۸

چکیده

اثر سطوح مختلف کلسیم (۰/۶ و ۰/۳ درصد)، آنزیم فیتاز (صفر و ۱۵۰۰ واحد) و اسیدسیتریک (صفر و یک درصد) در جیره‌های حاوی ۰/۱۵ درصد فسفر غیرفیتات، بر عملکرد رشد، صفات لاشه و خصوصیات شیمیایی استخوان با استفاده از ۸۸۲ قطعه جوجه گوشتی نر ۱۰ روزه از سن ۱۱ تا ۴۰ روزگی در یک آرایش فاکتوریل ۲×۲×۲ در قالب طرح کاملاً تصادفی با نه تیمار (کنترل مثبت و هشت جیره بدون منبع معدنی فسفر) و هفت تکرار بررسی شد. افزودن فیتاز افزایش وزن روزانه و بازده خوراک را افزایش داد، اما اثر فیتاز در جوجه‌های دریافت‌کننده جیره حاوی ۰/۶ درصد کلسیم در ۲۵ تا ۴۰ روزگی آشکارتر بود (P<۰/۰۱). با کاهش غلظت کلسیم، افزایش وزن روزانه (۲۴-۱۱ روزگی) و بازده خوراک (۲۴-۱۱ و ۴۲-۲۵ روزگی) کاهش یافت. هم‌چنین استفاده از اسیدسیتریک در جیره‌های حاوی ۰/۳ درصد کلسیم تأثیر منفی بر این صفات داشت (P<۰/۰۱). افزودن هم‌زمان فیتاز و اسیدسیتریک به جیره حاوی ۰/۶ درصد کلسیم در مقایسه با جیره ۰/۳ درصد بازده خوراک را افزایش داد (P<۰/۰۱). افزودن فیتاز به جیره، سبب افزایش درصد خاکستر انگشتان و سدیم استخوان و کاهش غلظت کلسیم و فسفر استخوان شد (P<۰/۰۱). با کاهش سطح کلسیم و افزودن فیتاز، فسفر استخوان کاهش یافت (P<۰/۰۱). وزن نسبی قلب و پانکراس با افزودن فیتاز به جیره کاهش یافت (P<۰/۰۵). با کاهش سطح کلسیم، وزن نسبی کبد و پانکراس افزایش و درصد چربی شکمی و قلب کاهش یافت (P<۰/۰۵). براساس نتایج حاصل، افزودن فیتاز و اسیدسیتریک به جیره حاوی ۰/۶ درصد کلسیم، سبب بهبود عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره حاوی فسفر غیرفیتات پایین می‌شود.

کلیدواژه‌ها: آنزیم فیتاز، اسید سیتریک، اسید فایتیک، فسفر، کلسیم، معدنی‌شدن استخوان.

Effect of phytase, citric acid and calcium concentration on growth performance, carcass traits and bone chemical properties of broiler chicken fed diets containing low non-phytate phosphorus

Leila Mirisakhani¹, HamidReza Taheri^{2*}

1. Ph.D. Student, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

2. Associate Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Received: October 9, 2021

Accepted: December 29, 2021

Abstract

Effect of different levels of calcium (0.3 and 0.6%), phytase (0 and 1500 FTU/kg), and citric acid (0 and 1%) in diets containing 0.15% of non-phytate phosphorus, on growth performance, carcass traits, and bone chemical properties were investigated using 882 10-day-old male broilers from 11 to 40 days of age in 2×2×2 factorial arrangements based on a completely randomized design including 9 treatments (positive control and eight diets without any inorganic phosphorus) and 7 replications. The supplementation of phytase increased average daily gain and gain to feed ratio, but the effect of phytase was more apparent in broiler chickens received diets containing 0.6% calcium at 25 to 40 days of age (P<0.01). Reducing dietary calcium levels decreased average daily gain (11 to 24 days) and gain to feed ratio (11 to 24 and 25 to 42 days). Also, the inclusion of citric acid in diets containing 0.3% calcium had a negative effect on these traits (P<0.01). The combination of phytase and citric acid in diets containing 0.6% Ca increased the feed efficiency compared to the 0.3% diet (P<0.01). Phytase supplementation increased toe ash and bone sodium percentage and decreased bone calcium and phosphorus concentration (P<0.01). Bone phosphorus decreased by reducing dietary calcium levels and phytase supplementation (P<0.01). The relative heart and pancreas weight decreased with phytase supplementation (P<0.05). Reducing dietary calcium levels increased the relative liver and pancreas weight and decreased abdominal fat and heart percentage (P<0.05). According to the results, the combination of phytase and citric acid in diets containing 0.6% calcium was more effective in improving growth performance of broilers fed diets containing low non-phytate phosphorus.

Keywords: Bone mineralization, Calcium, Citric acid, phosphorus, Phytase enzyme, Phytic acid.

مقدمه

گزارش شده است استفاده از سه درصد اسیدسیتریک به همراه ۷۵۰ واحد فیتاز در جیره‌های با سطوح پایین فسفر غیرفیتات، تفاوت معنی‌داری بر افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک نداشت. با این حال، درصد خاکستر استخوان به‌طور معنی‌داری افزایش یافت [۸]. نشان داده شده است اسیدسیتریک می‌تواند با تشکیل کمپلکس (تشکیل کیلات) با کاتیون‌های چندبانی مانند کلسیم و کاهش ظرفیت اتصال کلسیم با فیتات، باعث بهبود اثر فیتاز و افزایش حلالیت اسید فایتیک شود [۸]. علاوه بر این، اسیدهای آلی، pH روده کوچک را کاهش داده و از کلاته شدن اسیدفایتیک با مواد معدنی و ایجاد نمک‌های نامحلول فیتات جلوگیری می‌نماید که منجر به افزایش تفکیک بین مواد معدنی و اسید فایتیک و افزایش فعالیت فیتاز می‌شوند. فعالیت مطلوب آنزیم فیتاز در pH پایین گزارش شده است [۱۳].

کاهش سطح کلسیم جیره نیز باعث افزایش عملکرد آنزیم فیتاز می‌شود. گزارش شده است استفاده از مقادیر متداول کلسیم در جیره جوجه‌های گوشتی (۰/۹ درصد)، به‌طور معنی‌داری باعث کاهش فعالیت فیتاز روده‌ای و کاهش هیدرولیز فسرفیتات در مقایسه با سطح پایین‌تر کلسیم می‌شود [۶]. روند پیشرفت ژنتیکی در سرعت رشد جوجه گوشتی برآورد نادرستی از نیاز کلسیم پرنده به‌وجود آورده است. به‌طوری‌که نه تنها باعث کاهش هضم سایر مواد مغذی جیره می‌شود، بلکه باعث دفع بیش‌تر نیتروژن و فسفر به محیط زیست می‌شود [۱]. در واقع میان کلسیم و فسفر رابطه متضادی وجود دارد که با افزایش کلسیم در جیره غذایی، جذب فسفر و بهره‌وری از فسفر فیتات کاهش می‌یابد [۶] و [۱۷] که می‌توان با کاهش سطح کلسیم جیره، فراهمی فسفر و سایر مواد مغذی را افزایش داد [۱ و ۲۰]. سطوح بالای کلسیم منجر به ایجاد کمپلکس کلسیم- فیتات، افزایش pH روده و کاهش قابلیت انحلال مواد معدنی و جذب آن‌ها می‌-

فسفر در تغذیه طیور نقش کلیدی در بسیاری از فرایندهای متابولیسمی و رشد اسکلت دارد و برای دستیابی به عملکرد مطلوب ضروری است [۱]. برای تأمین نیاز فسفر از منابع معدنی استفاده می‌شود که علاوه بر تحمیل هزینه، باعث استخراج بیش از حد معادن تجدیدنپذیر فسفات معدنی می‌شود [۱۴]. از سوی دیگر، حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد فسفر موجود در محصولات گیاهی مورد استفاده در تغذیه طیور، در قالب مولکول اسیدفایتیک (فسفر فیتات) بوده و برای طیور قابل استفاده نیست [۲۵]. دفع فسفر فیتات هضم‌نشده، منجر به تجمع در خاک و در نهایت آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شود [۱۶]. اثرات ضدتغذیه‌ای فسفر فیتات بر عملکرد رشد و قابلیت هضم و استفاده از مواد مغذی در جوجه‌های گوشتی گزارش شده است [۱۳، ۲۰، ۲۴ و ۲۵].

از راه‌کارهای بهبود استفاده از فسفر فیتات در جوجه گوشتی، افزودن آنزیم فیتاز به جیره است که منجر به بهبود ۲۰ تا ۴۵ درصدی استفاده از فسفر فیتات می‌شود [۱۷] و [۲۴]. آنزیم فیتاز در تجزیه کمپلکس مواد معدنی- فیتات و کمپلکس پروتئین- فیتات تأثیرگذار بوده و سبب بهبود زیست‌فراهمی و قابلیت هضم مواد مغذی [۲۰] و به‌دنبال آن افزایش عملکرد پرنده [۲۴] و معدنی‌شدن استخوان می‌شود [۱۵]. مقدار استاندارد استفاده از آنزیم فیتاز در جیره‌های طیور حدود ۵۰۰ واحد در کیلوگرم می‌باشد [۱۳]. با این حال، گزارش شده است سطوح بالاتر فیتاز موجب بهبود در عملکرد [۲۱، ۲۲ و ۲۴] و افزایش جذب فسفر غیرفیتات و سایر مواد مغذی می‌شود [۹ و ۱۶]. بازدهی آنزیم فیتاز در هیدرولیز فیتات، به‌طور متوسط ۲۹ درصد گزارش شده است [۲۵] و راه‌کارهای مختلفی از جمله مکمل نمودن جیره با اسیدسیتریک و یا کاهش سطح کلسیم جیره، به‌منظور افزایش بازدهی فیتاز موردبررسی قرار گرفته‌اند [۶، ۸، ۱۳ و ۱۷].

تولیدات دامی

اثر فیتاز، اسید سیتریک و غلظت کلسیم بر عملکرد رشد، صفات لاشه و خصوصیات شیمیایی استخوان جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره حاوی فسفر غیرفیتات پایین

سطح کلسیم و فسفر، با استفاده از نرم‌افزار UFFDA [۲۳] تنظیم شدند (جدول ۱).

میزان کلسیم و فسفر جیره کنترل مثبت در دوره سنی ۱۱ تا ۲۴ روزگی، به ترتیب ۰/۸۷ و ۰/۴۳۵ درصد و در دوره سنی ۲۵ تا ۴۰ روزگی ۰/۷۹ و ۰/۳۹۵ درصد بود. در سایر جیره‌های آزمایشی، جهت کاهش سطح فسفر غیرفیتات، منبع فسفر معدنی (منوکلسیم فسفات) به‌طور کامل حذف شد و جیره‌ها براساس کاهش سطح کلسیم با سطوح ۰/۶ یا ۰/۳ درصد کلسیم فرموله شدند. سایر اقلام خوراکی و مواد مغذی در کلیه جیره‌های آزمایشی یکسان بود. آنزیم فیتاز با منشأ باکتریایی و نام تجاری RONOZYME® HiPhos (DSM، سوئیس) مورد استفاده قرار گرفت که هر گرم آن دارای حداقل ۱۰،۰۰۰ واحد فعال (FYT) آنزیم فیتاز بود. اسیدسیتریک به شکل پودر منوهیدراته (Jiangsu Guoxin چین) استفاده شد. از خوراک مصرفی پرنده‌ها در طی دوره‌های پرورش نمونه‌گیری شد و طبق روش توصیه شده [۴]، میزان کلسیم (روش ۹۳۵/۱۳)، فسفر کل (روش ۹۶۵/۱۷) و فعالیت فیتازی (روش ۲۰۰۰/۱۲) آن‌ها اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

در ابتدای ۲۵ و ۴۰ روزگی، با اعمال گرسنگی، همه پرنده‌های هر پن وزن‌کشی شدند. در انتهای هر دوره پرورش، روز مرغ محاسبه و میزان افزایش وزن و مقدار خوراک مصرفی روزانه اندازه‌گیری شد و بازده خوراک هر پن محاسبه شد. تلفات و لنگش هر پن در طول آزمایش ثبت شد. در انتهای دوره آزمایش، وزن نسبی (درصد از وزن بدن) لاشه، چربی شکمی و اندام‌های قلب، کبد، پانکراس، طحال و پاها با کشتار سه پرنده به‌ازای هر تکرار اندازه‌گیری شد. هم‌چنین استخوان تارسومتاتارسوس و انگشتان پای چپ پرنده‌های کشتار شده جهت تعیین درصد خاکستر و غلظت کلسیم و فسفر جمع‌آوری شد.

شود [۱۷]. هم‌چنین، ممکن است کلسیم برای قرارگرفتن در جایگاه فعال آنزیم با مولکول فیتات رقابت نماید و باعث کاهش فعالیت آنزیم فیتاز شود [۳ و ۶]. می‌توان انتظار داشت با استفاده از سطوح بالای آنزیم فیتاز در کنار اسیدسیتریک و کاهش سطح کلسیم جیره، استفاده از فسفر فیتات در جوجه‌های گوشتی افزایش یابد. بنابراین هدف از مطالعه حاضر بررسی اثرات فیتاز، اسید سیتریک و غلظت کلسیم بر عملکرد رشد، صفات لاشه و خصوصیات شیمیایی استخوان جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره حاوی فسفر غیرفیتات پایین بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌صورت آرایش فاکتوریل ۲×۲×۲ با دو سطح کلسیم (۰/۶ و ۰/۳ درصد)، دو سطح آنزیم فیتاز (صفر و ۱۵۰۰ واحد آنزیم در کیلوگرم) و دو سطح اسیدسیتریک (صفر و یک درصد) به‌همراه کنترل مثبت، با ۸ تیمار، هفت تکرار و ۱۴ قطعه جوجه گوشتی در هر تکرار طی روزهای ۱۱ تا ۲۴ و ۲۵ تا ۴۰ دوره‌ی پرورش انجام شد. اثر عوامل آزمایش در جیره‌های حاوی ۰/۱۵ درصد فسفر غیرفیتات، بررسی شد. جوجه‌ها از یک روزگی تا زمان شروع آزمایش با جیره بالانس‌شده (با ۰/۹۶ درصد کلسیم و ۰/۴۸ درصد فسفر غیرفیتات) و یکسان تغذیه شدند. در ابتدای روز ۱۱ دوره پرورش، با اعمال پنج ساعت گرسنگی، تعداد ۸۸۲ قطعه جوجه گوشتی نر سویه راس ۳۰۸ وزن‌کشی و به‌طور تصادفی با میانگین وزنی مشابه به پن‌های آزمایشی اختصاص یافتند. درجه حرارت، رطوبت و برنامه نوری در طول دوره پرورش مطابق راهنمای پرورش [۵] کنترل شد و جوجه‌ها به‌طور تمام وقت و آزادانه به آب و خوراک دسترسی داشتند. جیره‌های غذایی بر پایه ذرت-کنجاله سویا و مطابق راهنمای تغذیه سویه راس ۳۰۸ [۵] (به‌استثنای

تولیدات دامی

دوره ۲۴ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱

جدول ۱. ترکیب مواد خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی با غلظت‌های مختلف کلسیم

۲۵ تا ۴۰ روزگی		۱۱ تا ۲۴ روزگی		کنترل مثبت ۰/۶ درصد کلسیم		کنترل مثبت ۰/۳ درصد کلسیم	
درصد مواد خوراکی							
ذرت	۶۱/۶۲	۶۰/۰۸	۵۷/۶۸	۵۷/۳۷	۵۵/۷۳	۵۲/۵۷	
کنجاله سویا (۴۴/۱۲ درصد پروتئین)	۳۲/۲۱	۳۲/۴۴	۳۲/۷۹	۳۷/۲۲	۳۷/۵۴	۳۸/۱۵	
روغن سویا	۴/۴۴	۴/۹۶	۵/۷۶	۳/۶۵	۴/۱۸	۵/۲۱	
منوکلسیم فسفات	-	-	۱/۱۸	-	-	۱/۳۲	
کربنات کلسیم	۰/۵۱	۱/۳۰	۱/۳۶	۰/۴۷	۱/۲۶	۱/۴۸	
نمک	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۱	
سدیم بی‌کربنات	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۳	
دی‌ال - متیونین	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۲	
ال - لیزین هیدروکلراید	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۶	
ال - ترئونین	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	
مکمل ویتامینه ^۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	
مکمل معدنی ^۲	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	
ترکیب مواد مغذی ^۳							
انرژی متابولیسمی (کیلوکالری در کیلوگرم)	۳۲۰۰	۳۲۰۰	۳۲۰۰	۳۱۰۰	۳۱۰۰	۳۱۰۰	
پروتئین خام (درصد)	۱۹/۷	۱۹/۷	۱۹/۷	۲۱/۷	۲۱/۷	۲۱/۷	
لیزین (درصد)	۱/۱۶	۱/۱۶	۱/۱۶	۱/۲۹	۱/۲۹	۱/۲۹	
متیونین + سیستئین (درصد)	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	
ترئونین (درصد)	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	
والین (درصد)	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	
ایزولوسین (درصد)	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	
آرژنین (درصد)	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۳۹	۱/۳۹	۱/۳۹	
کلسیم (درصد)	۰/۳۰	۰/۶۰	۰/۷۹	۰/۳۰	۰/۶۰	۰/۸۷	
فسفر غیر فیتات (درصد)	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۳۹۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۴۳۵	
فسفر کل (درصد)	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۶۳	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۶۸	
سدیم (درصد)	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	
کلر (درصد)	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	
پتاسیم (درصد)	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	
تعادل کاتیون-آنیون جیره	۲۲۶	۲۲۶	۲۲۶	۲۴۸	۲۴۹	۲۵۰	

- ترکیب در هر کیلوگرم از جیره شامل: ۱۰،۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A؛ ۵،۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D₃؛ ۵۰ واحد بین‌المللی ویتامین E؛ ۰/۰۱۶ میلی‌گرم ویتامین B₁₂؛ ۳ میلی‌گرم منادیون؛ ۶ میلی‌گرم ریوفلاوین؛ ۲ میلی‌گرم تیامین؛ ۱۰ میلی‌گرم اسید پانتوتیک؛ ۵۵ میلی‌گرم نیاسین؛ ۱/۷۵ میلی‌گرم اسید فولیک؛ ۰/۲ میلی‌گرم بیوتین؛ ۴ میلی‌گرم پیریدوکسین.
- ترکیب در هر کیلوگرم از جیره شامل: ۱۲۰ میلی‌گرم منگنز (MnSO₄)؛ ۱۰۰ میلی‌گرم روی (ZnSO₄)؛ ۲۰ میلی‌گرم آهن (FeSO₄)؛ ۱۶ میلی‌گرم مس (CuSO₄)؛ ۰/۳ میلی‌گرم سلنیوم (Na₂SeO₃)؛ ۱/۲۵ میلی‌گرم ید (KIO₃).
- برای برآورد مواد مغذی، اطلاعات انجمن ملی تحقیقات آمریکا (NRC, 1994) مورد استفاده قرار گرفت.

تولیدات دامی

دوره ۲۴ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱

اثر فیتاز، اسید سیتریک و غلظت کلسیم بر عملکرد رشد، صفات لاشه و خصوصیات شیمیایی استخوان جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره حاوی فسفر غیرفیتات پایین

جدول ۲. ترکیب مواد مغذی (اندازه‌گیری شده) جیره‌های آزمایشی

۲۵ تا ۴۰ روزگی			۱۱ تا ۲۴ روزگی			تیمارها
فعالیت فیتاز (واحد در کیلوگرم)	کلسیم فسفر کل (گرم در کیلوگرم)	کلسیم	فعالیت فیتاز (واحد در کیلوگرم)	کلسیم فسفر کل (گرم در کیلوگرم)	کلسیم	
۹۰	۶/۳	۷/۹	۹۸	۶/۸	۸/۶	کنترل مثبت ۰/۶ درصد کلسیم صفر درصد اسید سیتریک
۸۱	۳/۸	۶/۰	۱۰۰	۴/۰	۶/۰	صفر واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
۱۶۰۲	۳/۸	۶/۰	۱۵۹۴	۴/۰	۶/۱	۱۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم یک درصد اسید سیتریک
۶۸	۳/۸	۶/۰	۱۰۷	۴/۰	۶/۰	صفر واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
۱۶۰۶	۳/۸	۶/۰	۱۵۲۴	۴/۰	۶/۰	۱۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم ۰/۳ درصد کلسیم صفر درصد اسید سیتریک
۷۷	۳/۸	۳/۰	۵۹	۴/۰	۲/۹	صفر واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
۱۵۹۰	۳/۸	۳/۱	۱۵۲۶	۴/۰	۲/۹	۱۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم یک درصد اسید سیتریک
۸۱	۳/۷	۳/۱	۱۰۴	۴/۰	۲/۹	صفر واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
۱۶۰۴	۳/۸	۳/۱	۱۵۰۳	۴/۰	۲/۹	۱۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم

مرجع گزارش شد و در آنالیز آماری فاکتوریل مدنظر قرار نگرفت. همچنین، دو آزمون کانترست برای مقایسه میان گروه کنترل مثبت (PC) در مقابل تیمار ۰/۶ درصد کلسیم + ۱۵۰۰ واحد فیتاز (Phy + 0.6) و تیمار ۰/۶ درصد کلسیم + ۱۵۰۰ واحد فیتاز + یک درصد اسید سیتریک (CA + Phy + 0.6) انجام شد.

رابطه (۱) $Y_{ijk} =$

$$\mu + P_i + A_j + C_k + PA_{ij} + PC_{ik} + AC_{jk} + PAC_{ijk} + e_{ijk}$$

به طوری که، Y_{ijk} مقدار هر مشاهده؛ μ میانگین جامعه؛ P_i اثر مربوط به فیتاز؛ A_j اثر مربوط به اسید سیتریک؛ C_k اثر مربوط به کلسیم؛ PA_{ij} اثر متقابل فیتاز × اسید سیتریک؛ PC_{ik} اثر متقابل فیتاز × کلسیم؛ AC_{jk} اثر متقابل اسید سیتریک × کلسیم؛ PAC_{ijk} اثر متقابل فیتاز × اسید سیتریک × کلسیم؛ e_{ijk} اثر خطای آزمایشی است.

جهت تعیین درصد خاکستر انگشتان از کوره الکتریکی (ایران خودساز، ایران) استفاده و از طریق نسبت وزن خاکستر به وزن استخوان، درصد خاکستر محاسبه شد. برای اندازه‌گیری غلظت کلسیم، فسفر و سدیم استخوان مطابق توصیه [۴]، ابتدا عصاره اسیدی از نمونه‌های خاکستر استخوان، تهیه شد. غلظت کلسیم با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Varian مدل SpectraAA 220، ایالات متحده آمریکا)، غلظت فسفر با دستگاه اسپکتروفتومتری (Apel مدل PD-3000UV، ژاپن) و غلظت سدیم با دستگاه فلیم‌فتومتر (JENWAY مدل PFP7، انگلستان) اندازه‌گیری شد.

داده‌های حاصل از هشت تیمار بدون منبع فسفر معدنی، با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) [۱۸] و براساس رابطه (۱) تجزیه و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSMEANS مقایسه شد. نتایج کنترل مثبت به‌عنوان تیمار

تولیدات دامی

دوره ۲۴ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱

نتایج و بحث

نتایج مطالعات حاکی از آن است که افزودن آنزیم فیتاز، با تخریب مواد ضدمغذی موجود در دیواره سلولی گیاه [۱۳] و به دنبال آن جذب بهتر مواد مغذی، باعث افزایش وزن، مصرف خوراک و بهبود ضریب تبدیل می‌شود [۳، ۲۲ و ۲۴]. ترکیبات فسفر به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در همه فعالیت‌های مهم بیولوژیک از طریق فسفوریلاسیون شرکت دارند [۱۷]. چگونگی تحریک رشد توسط فیتاز می‌تواند تا حدودی ناشی از افزایش زیست‌فراهمی املاح از جمله فسفر و کلسیم به دلیل افزایش غلظت میواینوزیتول (محصول نهایی دفسفوریلاسیون فیتات) و نیز آزاد شدن مواد معدنی و عناصر کمیاب متصل به اسیدفایتیک باشد [۲۰]. مکانیسم احتمالی دیگر می‌تواند به دلیل افزایش قابلیت هضم نشاسته و پروتئین باشد [۲۴]. گزارش شده است که افزودن دو و سه درصد اسیدسیتریک تأثیری بر افزایش وزن روزانه ندارد [۷ و ۲۲]. در حالی که نتایج مطالعات دیگری بهبود در افزایش وزن روزانه را گزارش نمودند [۸ و ۱۰]، که تا حدودی موافق با نتایج مطالعه حاضر در ۲۵ تا ۴۰ روزگی است. پژوهش‌گران دلیل افزایش عملکرد در هنگام استفاده از اسیدسیتریک را، ناشی از بهبود قابلیت هضم پروتئین، انرژی قابل متابولیسم و سایر مواد مغذی عنوان نموده‌اند [۱۱]. هم‌چنین بیان شده است، اسیدی کردن خوراک با تعادل جمعیت میکروبی، سبب بهبود واکنش آنزیم‌های هضمی، بهبود فعالیت فیتاز میکروبی، افزایش ترشح پانکراس و در نهایت افزایش رشد موکوس روده و موجب بهبود خوراک مصرفی و عملکرد رشد پرندگان می‌شود [۱۰].

کلسیم یک ماده مغذی ضروری است اما ممکن است تا یک سوم آن متصل به فیتات باشد [۱۲] و در نتیجه دسترسی به آن محدود شود. فیتات به‌راحتی توسط فیتاز و هیدرولیز می‌شود؛ اما گزارش شده است سطح کلسیم و نسبت کلسیم به فسفر جهت اثربخشی فیتاز بسیار مهم است [۶].

اثر جیره‌های آزمایشی بر صفات عملکرد جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با فسفر غیرفیتات پایین در (جدول ۳) آورده شده است. افزودن ۱۵۰۰ واحد فیتاز در کیلوگرم جیره، افزایش وزن روزانه و بازده خوراک را در ۱۱ تا ۲۴ و ۲۵ تا ۴۰ روزگی افزایش داد ($P < 0/01$). هم‌چنین افزودن فیتاز منجر به افزایش میانگین مصرف خوراک روزانه طی روزهای ۲۵ تا ۴۰ شد ($P < 0/01$). اما اثر افزودن فیتاز در جیره‌های حاوی ۰/۳ درصد کلسیم کم‌تر بود ($P < 0/01$). استفاده از یک درصد اسیدسیتریک تنها سبب کاهش بازده خوراک در ۲۵ تا ۴۰ روزگی شد ($P < 0/01$). کاهش سطح کلسیم جیره بر میانگین مصرف خوراک، افزایش وزن روزانه و بازده خوراک در روزهای ۱۱ تا ۲۴ ($P < 0/05$) و در ۲۵ تا ۴۰ روزگی تنها بر بازده خوراک تأثیرگذار بود ($P < 0/01$) و در تمام صفات منجر به کاهش شد.

اثر متقابل فیتاز × اسید سیتریک بر عملکرد معنی‌دار نبود، اما با کاهش سطح کلسیم و افزودن اسید سیتریک در روزهای ۱۱ تا ۲۴، میانگین افزایش وزن روزانه و بازده خوراک کاهش یافت ($P < 0/05$). برهم‌کنش افزودن هم‌زمان فیتاز و اسید سیتریک در جیره ۰/۶ کلسیم منجر به افزایش صفات عملکردی شد، اما با کاهش سطح کلسیم این صفات کاهش یافت ($P < 0/01$). صفات عملکردی جوجه‌های تغذیه‌شده با جیره کنترل مثبت نسبت به استفاده هم‌زمان فیتاز و اسید سیتریک در جیره ۰/۶ کلسیم در ۱۱ تا ۲۴ روزگی تفاوتی نداشت، در حالی که استفاده فیتاز به تنهایی در جیره ۰/۶ کلسیم نسبت به جیره کنترل مثبت تأثیر منفی بر عملکرد پرندگان داشت ($P < 0/05$) که نشان‌دهنده تأثیر مثبت اسید سیتریک بر عملکرد آنزیم فیتاز در این سن می‌باشد. اثر هم‌کوشی فیتاز و اسیدسیتریک در سن ۲۵ تا ۴۰ روزگی کم‌تر بود.

اثر فیتاز، اسید سیتریک و غلظت کلسیم بر عملکرد رشد، صفات لاشه و خصوصیات شیمیایی استخوان جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با جیره حاوی فسفر غیرفیتات پایین

جدول ۳. اثر فیتاز، اسید سیتریک و غلظت کلسیم بر عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با فسفر غیرفیتات پایین

بازده خوراک		مصرف خوراک روزانه (گرم)		افزایش وزن روزانه (گرم)		منابع تغییرات
۴۰ تا ۲۵ روزگی	۲۴ تا ۱۱ روزگی	۴۰ تا ۲۵ روزگی	۲۴ تا ۱۱ روزگی	۴۰ تا ۲۵ روزگی	۲۴ تا ۱۱ روزگی	
۰/۵۸۵	۰/۷۱۵	۱۵۹/۹	۷۶/۰	۹۳/۶	۵۴/۳	کنترل مثبت ۰/۶ درصد کلسیم
۰/۴۸۶ ^f	۰/۶۶۱	۱۴۲/۸ ^{bc}	۷۶/۵	۶۹/۳	۵۰/۶	صفر درصد اسید سیتریک
۰/۵۷۰ ^a	۰/۶۸۷	۱۵۱/۳ ^a	۷۵/۰	۸۶/۱	۵۱/۵	صفر واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم ۱۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
۰/۵۲۳ ^d	۰/۶۷۳	۱۳۴/۸ ^d	۷۵/۷	۷۰/۴	۵۰/۹	یک درصد اسید سیتریک
۰/۵۷۱ ^a	۰/۷۰۳	۱۵۲/۸ ^a	۷۶/۲	۸۷/۲	۵۳/۶	صفر واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم ۱۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
۰/۵۲۰ ^{de}	۰/۶۵۵	۱۳۹/۳ ^{cd}	۷۳/۶	۷۲/۴	۴۸/۳	۰/۳ درصد کلسیم
۰/۵۳۳ ^c	۰/۶۸۱	۱۵۰/۳ ^a	۷۴/۴	۸۰/۱	۵۰/۶	صفر درصد اسید سیتریک
۰/۵۱۱ ^e	۰/۶۲۴	۱۴۳/۹ ^{bc}	۷۳/۰	۷۳/۵	۴۵/۶	صفر واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
۰/۵۵۱ ^b	۰/۶۶۵	۱۴۷/۱ ^{ab}	۷۲/۸	۸۱/۱	۴۸/۴	۱۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۲/۱	۱/۳	۱/۲	۱/۰	خطای استاندارد میانگین‌ها
۰/۵۱۰	۰/۶۵۴ ^b	۱۴۰/۱	۷۴/۷	۷۱/۴ ^b	۴۸/۸ ^b	آنزیم فیتاز (واحد در کیلوگرم)
۰/۵۵۶	۰/۶۸۴ ^a	۱۵۰/۴	۷۴/۶	۸۳/۳ ^a	۵۱/۰ ^a	صفر ۱۵۰۰
۰/۵۲۷	۰/۶۷۱	۱۴۵/۸	۷۴/۹	۷۷/۰	۵۰/۳	اسید سیتریک (درصد)
۰/۵۳۹	۰/۶۶۶	۱۴۴/۷	۷۴/۴	۷۸/۰	۴۹/۶	صفر ۱
۰/۵۳۷	۰/۶۸۱ ^a	۱۴۵/۳	۷۵/۸ ^a	۷۸/۳	۵۱/۸ ^a	کلسیم (درصد)
۰/۵۲۹	۰/۶۵۶ ^b	۱۴۵/۱	۷۳/۴ ^b	۷۶/۸	۴۸/۲ ^b	۰/۶ ۰/۳
۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۱/۰	۰/۶	۰/۶	۰/۵	خطای استاندارد میانگین‌ها
P-value						
<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۰/۹۲۷	<۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	آنزیم فیتاز
<۰/۰۰۱	۰/۲۴۷	۰/۴۴۱	۰/۶۱۴	۰/۲۱۸	۰/۴۰۶	اسید سیتریک
۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۰/۸۸۳	۰/۰۱۳	۰/۰۸۴	<۰/۰۰۱	کلسیم
۰/۴۰۸	۰/۲۴۲	۰/۷۷۹	۰/۷۸۹	۰/۹۴۶	۰/۴۹۵	آنزیم فیتاز × اسید سیتریک
<۰/۰۰۱	۰/۵۳۱	۰/۰۴۶	۰/۷۰۴	<۰/۰۰۱	۰/۶۲۸	آنزیم فیتاز × کلسیم
۰/۰۰۶	<۰/۰۰۱	۰/۲۰۰	۰/۴۷۴	۰/۹۵۹	۰/۰۱۷	اسید سیتریک × کلسیم
<۰/۰۰۱	۰/۵۳۵	۰/۰۰۶	۰/۴۲۸	۰/۹۷۸	۰/۶۴۷	آنزیم فیتاز × اسید سیتریک × کلسیم
۰/۰۰۴	<۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۶۲۵	<۰/۰۰۱	۰/۰۴۷	PC vs. 0.6 + Phy ¹
۰/۰۰۷	۰/۱۲۸	۰/۰۲۱	۰/۸۸۳	<۰/۰۰۱	۰/۶۳۲	PC vs. 0.6 + Phy + CA ²

ns: تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ستون معنی دار است (P<۰/۰۵).

۱. کانترست میان تیمار کنترل مثبت و تیمار ۰/۶ درصد کلسیم + ۱۵۰۰ واحد فیتاز در کیلوگرم.

۲. کانترست میان تیمار کنترل مثبت و تیمار ۰/۶ درصد کلسیم + ۱۵۰۰ واحد فیتاز در کیلوگرم + یک درصد اسید سیتریک.

تولیدات دامی

دوره ۲۴ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱

جیره‌های حاوی ۰/۳ درصد کلسیم لنگش افزایش یافت. مقایسه میان کنترل مثبت با تیمارهای منتخب نیز تفاوت معنی‌داری نداشت. مطابق با نتایج پژوهش حاضر، اثر استفاده از مکمل‌های فیتاز و اسید سیتریک بر درصد تلفات معنی‌دار نبود [۸ و ۲۲]، درحالی‌که مطالعات دیگر گزارش نمودند که افزودن فیتاز، به‌طور معنی‌داری باعث کاهش درصد تلفات در ۲۱ روزگی شد [۱۶ و ۲۱]. هم‌چنین کاهش سطح کلسیم نیز منجر به کاهش میزان تلفات شد [۲۱] که با نتایج مطالعه حاضر مغایرت دارد.

در تأیید نتایج حاضر، در جیره‌های با فسفر غیرفیتات پایین که از غلظت بالای کلسیم استفاده شده بود، کاهش فسفر تشدید شده و پرندگان مستعد به فلجی شدند [۳]. در واقع، به‌نظر می‌رسد کاهش سطح کلسیم تا ۰/۳ درصد و افزودن هم‌زمان فیتاز و اسیدسیتریک منجر به عدم تعادل بیش‌تر میان کلسیم و فسفر غیرفیتات و ایجاد لنگش در پرنده‌ها شده است. گزارش شده است کاهش سطح کلسیم تا ۲۵ درصد حد معمول باعث افزایش عملکرد در فراهمی فسفر و کاهش فلجی پرنده‌ها شد [۱۹].

نتایج مربوط به تأثیر جیره‌های آزمایشی بر خصوصیات شیمیایی استخوان در جدول (۵) آورده شده است. به‌طورکلی، افزودن آنزیم فیتاز منجر به افزایش درصد خاکستر انگستان و سدیم استخوان و کاهش درصد کلسیم و فسفر در استخوان تارسومتاتارسوس و انگستان شد ($P < 0/01$). با کاهش سطح کلسیم نیز نتایج مشابهی مشاهده شد؛ هرچند درصد فسفر در استخوان انگستان در اثر اصلی کلسیم افزایش یافت. کاهش سطح کلسیم جیره نسبت به کنترل مثبت، منجر به کاهش درصد خاکستر انگستان شد؛ درحالی‌که، افزودن فیتاز باعث تأثیر مثبت و افزایش درصد خاکستر انگستان شد ($P < 0/01$). کاهش سطح کلسیم و افزودن هم‌زمان فیتاز و اسید سیتریک تأثیری بر خصوصیات استخوان نداشت.

افزایش نسبی سطح کلسیم می‌تواند بر عملکرد و قابلیت هضم کلسیم و فسفر تأثیر منفی بگذارد [۹]. نکته مهم این است که جیره دارای فسفر غیرفیتات پایین و غلظت بالای کلسیم می‌تواند کمبود فسفر غیرفیتات را تشدید کرده و با تشکیل کمپلکس کلسیم-فیتات در روده، عدم تعادل بین کلسیم و فسفر غیرفیتات را بیش‌تر کند [۱۹]. بیان شده است سطوح کلسیم نرمال و بالاتر در داخل روده پرندگان باعث عدم فعالیت بهینه فیتاز و در نتیجه عدم جذب و فراهمی فسفر غیرفیتات می‌شود [۹]، که در نهایت منجر به کاهش عملکرد و تولید فسفولیپید کلسیم در غشای دیواره روده می‌شود. این فسفولیپید محل مناسبی برای رقابت پاتوژن‌های مضر از جمله کلاستریدیوم پرفریژنس است. در نتیجه این پاتوژن در غشای موکوسی روده تولید سم می‌کند و باعث نکروز پرزهای روده و کاهش سطح جذب شده و پرنده را به بیماری‌های روده از جمله نکروتیک و آنتریت مستعد می‌کند [۱۵]. این شرایط در کاهش سطح کلسیم جیره از ۰/۹ به ۰/۶ درصد به‌شدت کاهش یافت و پرندگان از سلامت دستگاه گوارش بالاتری برخوردار بودند [۱۵]. سلامت روده نیز به‌طور مستقیم بر رشد و عملکرد پرندگان تأثیرگذار است. هم‌چنین نشان داده شده است که در جیره‌های حاوی سطح پایین کلسیم، فراهمی بسیار بیش‌تری از فسفر و سایر مواد مغذی جیره از جمله، نیتروژن و چربی در اختیار پرندگان قرار می‌گیرد [۱۴] و غلظت بالای کلسیم در جیره باعث کاهش قابلیت هضم اسیدهای آمینه می‌شود [۳ و ۱۲]. نتایج مربوط به تأثیر جیره‌های آزمایشی بر درصد لنگش و درصد تلفات در سن ۴۰ روزگی در جدول (۴) گزارش شده است. اثرات اصلی فاکتورهای آزمایشی بر صفات مذکور تأثیری نداشت. با این‌حال، اثرات متقابل اسید سیتریک × کلسیم در سن ۱۱ تا ۲۴ روزگی و آنزیم فیتاز × کلسیم طی روزهای ۲۵ تا ۴۰ دوره پرورش، بر درصد لنگش پرندگان معنی‌دار بود ($P < 0/05$) و در

اثر فیتاز، اسید سیتریک و غلظت کلسیم بر عملکرد رشد، صفات لاشه و خصوصیات شیمیایی استخوان جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره حاوی فسفر غیرفیتات پایین

جدول ۴. اثر فیتاز، اسید سیتریک و غلظت کلسیم بر درصد لنگش و تلفات جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با فسفر غیرفیتات پایین

درصد تلفات		درصد لنگش		منابع تغییرات
۲۵ تا ۴۰ روزگی	۱۱ تا ۲۴ روزگی	۲۵ تا ۴۰ روزگی	۱۱ تا ۲۴ روزگی	
۱/۰۲	۱/۰۲	۱/۰۲	۰/۰۰	کنترل مثبت ۰/۶ درصد کلسیم
۲/۰۴	۰/۰۰	۱/۰۲	۲/۰۴	صفر درصد اسید سیتریک صفر واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم یک درصد اسید سیتریک
۲/۰۴	۰/۰۰	۲/۰۴	۰/۰۰	صفر واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
۲/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم ۰/۳ درصد کلسیم
۲/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	صفر درصد اسید سیتریک صفر واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
۱/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم یک درصد اسید سیتریک
۰/۰۰	۱/۰۲	۰/۰۰	۲/۰۴	صفر واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
۲/۰۴	۲/۰۴	۱/۰۲	۳/۰۶	۱۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
۱/۰۹	۰/۶۵	۰/۷۳	۰/۷۸	خطای استاندارد میانگین‌ها
P-value				
۰/۷۴۴	۰/۵۴۳	۰/۳۰۱	۰/۶۶۶	آنزیم فیتاز
۰/۷۴۴	۰/۰۷۲	۰/۳۰۱	۰/۲۰۰	اسید سیتریک
۰/۷۴۴	۰/۰۷۲	۰/۳۰۱	۰/۲۰۰	کلسیم
۰/۱۰۸	۰/۵۴۳	۱/۰۰۰	۰/۲۰۰	آنزیم فیتاز × اسید سیتریک
۰/۳۳۱	۰/۵۴۳	۰/۰۴۲	۰/۲۰۰	آنزیم فیتاز × کلسیم
۰/۳۳۱	۰/۰۷۲	۱/۰۰۰	۰/۰۰۳	اسیدسیتریک × کلسیم
۰/۷۴۴	۰/۵۴۳	۰/۳۰۱	۰/۶۶۶	آنزیم فیتاز × اسیدسیتریک × کلسیم
۰/۳۳۰	۱/۰۰۰	۰/۲۲۶	۰/۴۸۲	PC vs. 0.6 + Phy ¹
۰/۳۳۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۴۸۲	PC vs. 0.6 + Phy + CA ²

a-c: تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ستون معنی‌دار است ($P < 0.05$).

۱. کانترست میان تیمار کنترل مثبت و تیمار ۰/۶ درصد کلسیم + ۱۵۰۰ واحد فیتاز در کیلوگرم.
۲. کانترست میان تیمار کنترل مثبت و تیمار ۰/۶ درصد کلسیم + ۱۵۰۰ واحد فیتاز در کیلوگرم + یک درصد اسید سیتریک.

به ایجاد اثر منفی بر رسوب کلسیم و فسفر در استخوان می‌شود.

گزارش شده است کمبود کلسیم یا فسفر یا عدم تعادل در نسبت کلسیم به فسفر جیره در ابتدا پارامترهای متابولیسی کلسیم و فسفر خون را تغییر داده و سپس بر رشد استخوان جوجه‌های گوشتی تأثیر می‌گذارد [۱۲] و [۱۹]. مصرف ناکافی یک یا هر دو ماده معدنی، هنگامی که

مقایسه میان تیمار کنترل مثبت و افزودن فیتاز به‌تنهایی یا همراه با اسید سیتریک در جیره ۰/۶ کلسیم تأثیری بر کلسیم استخوان تارسومتاتاروسوس و انگشتان نداشت، اما منجر به کاهش غلظت فسفر استخوان‌ها و درصد خاکستر انگشتان شد ($P < 0.01$). کاهش سطح کلسیم منجر به تأثیر منفی بیش‌تری بر صفات مربوط به استخوان شد که نشان می‌دهد کاهش بیش‌تر کلسیم تا سطح ۰/۳ درصد، منجر

تولیدات دامی

دوره ۲۴ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱

سبب کاهش ترشح هورمون پاراتیروئید می‌شود. بنابراین مهاری که از طریق هورمون پاراتیروئید بر بازجذب کلیوی فسفر صورت گرفته، کاهش می‌یابد و کلسیم بیش‌تری که از دستگاه گوارش جذب شده، از طریق ادرار دفع می‌شود [۶ و ۱۲].

افزودن آنزیم فیتاز به تنهایی یا استفاده هم‌زمان آن با اسیدسیتریک منجر به افزایش درصد خاکستر استخوان شد، اما درصد کلسیم و فسفر استخوان چنین روندی را نشان نداد. این افزایش خاکستر استخوان می‌تواند ناشی از افزایش درصد سایر عناصر معدنی در استخوان باشد. برای این منظور، سدیم استخوان (به‌عنوان شاخصی از عناصر استخوان به‌جز کلسیم و فسفر) اندازه‌گیری شد و همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد در تیمارهایی که درصد خاکستر استخوان افزایش یافته، درصد سدیم استخوان نیز بیش‌تر شده است؛ هرچند درصد کلسیم یا فسفر تا حدودی کاهش نشان داد. کاملاً اثبات شده است که فیتاز می‌تواند قابلیت جذب بسیاری از عناصر معدنی را در دستگاه گوارش افزایش دهد [۹] و از این لحاظ، افزایش درصد سدیم استخوان می‌تواند تا حدودی بیانگر این موضوع باشد که بخشی از افزایش درصد خاکستر استخوان ناشی از افزایش درصد ذخیره سایر عناصر معدنی است.

در مطالعه حاضر، استفاده از اسیدسیتریک در سطح ۰/۶ درصد کلسیم منجر به افزایش درصد کلسیم و فسفر استخوان شد، اما با کاهش بیش‌تر کلسیم تا سطح ۰/۳ درصد تأثیر منفی بر این فراسنجه‌ها داشت. نشان داده شده است که عدم تعادل در غلظت کلسیم و فسفر منجر به تغییرات متفاوتی از جمله افزایش یا کاهش جذب آن‌ها از لومن روده می‌شود که می‌تواند یکپارچگی استخوان را به خطر اندازد و عملکرد جوجه‌های گوشتی را مختل کند [۱۷].

کمبود یکی از آن‌ها با هموستاز ماده دوم تداخل داشته باشد، منجر به تأخیر در رشد و معدنی‌شدن ضعیف استخوان می‌شود [۱۹]. از سوی دیگر نتایج مطالعات نشان داد که کمبود فسفر جیره، نسبت به زمانی که جیره دارای کمبود کلسیم و یا کمبود هم‌زمان فسفر و کلسیم باشد بر رشد و توسعه استخوان و پارامترهای متابولیکی کلسیم و فسفر تأثیرات زیان‌بارتری دارد [۱۲].

در مطالعه حاضر، با کاهش میزان کلسیم تا سطح ۰/۳ درصد و افزودن آنزیم فیتاز غلظت کلسیم استخوان کاهش یافت و این تأثیر در جیره‌های حاوی اسیدسیتریک بیش‌تر بود، اما در جیره‌های حاوی ۰/۶ درصد کلسیم این اثرات مشاهده نشد و توانست در سطح تیمار کنترل مثبت ظاهر شود. مکانیسم‌های احتمالی در مقالات بیان‌گر این است که پایین‌بودن غلظت فسفر سرم منجر به فعال‌شدن استئوکلاست‌ها می‌شود که به‌نوبه خود منجر به افزایش بازجذب استخوان برای حفظ سطح طبیعی فسفر خون و افزایش هم‌زمان سطح کلسیم در خون می‌شود [۱۷]. بنابراین، غلظت کلسیم خاکستر استخوان به‌شدت کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، برای حفظ هموستاز کلسیم خون، بازجذب استخوان افزایش پیدا می‌کند که تا حدی می‌تواند سطح کلسیم سرم را افزایش دهد [۱۲].

با کاهش فسفر خون، کلسیم خون افزایش می‌یابد، چرا که با کمبود فسفر، کلسیم جذب‌شده نتوانسته برای استخوان‌سازی مورد استفاده قرار گیرد. هم‌چنین با کمبود فسفر در خون، بازجذب استخوان صورت می‌گیرد که منجر به آزادشدن فسفر و کلسیم می‌شود. در ادامه فسفر می‌تواند برای مصارف دیگر مورد استفاده قرار گیرد، اما کلسیم بازجذب‌شده استخوانی در جای دیگر مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و به همین دلیل میزان کلسیم خون بالا می‌رود. هم‌چنین، جیره‌های با فسفر پایین سبب افزایش کلسیم یونیزه‌شده در پلاسما می‌شود که این امر

اثر فیتاز، اسید سیتریک و غلظت کلسیم بر عملکرد رشد، صفات لاشه و خصوصیات شیمیایی استخوان جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره حاوی فسفر غیرفیتات پایین

جدول ۵. اثر فیتاز، اسید سیتریک و غلظت کلسیم بر خصوصیات استخوان جوجه‌های تغذیه‌شده با فسفر غیرفیتات پایین (۴۰ روزگی)

استخوان انگشتان			استخوان تاروماتاتاروسوس			منابع تغییرات
فسفر	کلسیم	خاکستر	سدیم	فسفر	کلسیم	
گرم در صد گرم خاکستر			گرم در صد گرم خاکستر			
۶/۸	۱۴/۷	۴۵/۱	۰/۵۲۴	۲۰/۳	۳۹/۸	کنترل مثبت ۰/۶ درصد کلسیم
						صفر درصد اسید سیتریک
۷/۹	۱۴/۶	۳۶/۶	۰/۴۹۹	۲۶/۱	۴۰/۹	صفر واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
۶/۷	۱۴/۳	۳۹/۷	۰/۵۴۱	۲۴/۷	۳۹/۸	۱۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
						یک درصد اسید سیتریک
۷/۲	۱۴/۷	۳۶/۱	۰/۴۶۳	۲۷/۱	۴۱/۲	صفر واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
۶/۳	۱۴/۷	۴۰/۸	۰/۵۵۳	۲۱/۸	۴۰/۳	۱۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
						۰/۳ درصد کلسیم
						صفر درصد اسید سیتریک
۷/۹	۱۴/۷	۳۹/۱	۰/۵۶۱	۲۶/۰	۳۸/۷	صفر واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
۶/۶	۱۳/۳	۴۱/۲	۰/۵۹۹	۲۲/۳	۳۸/۳	۱۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
						یک درصد اسید سیتریک
۷/۸	۱۳/۳	۳۹/۴	۰/۵۸۰	۲۸/۰	۳۷/۲	صفر واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
۷/۴	۱۲/۷	۴۱/۹	۰/۶۰۵	۲۰/۸	۳۶/۷	۱۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم
۰/۱	۰/۱	۰/۹	۰/۰۲۱	۰/۲	۰/۳	خطای استاندارد میانگین‌ها
						آنزیم فیتاز (واحد در کیلوگرم)
۷/۷ ^a	۱۴/۳ ^a	۳۷/۸ ^b	۰/۵۲۵ ^b	۲۶/۸ ^a	۳۹/۵ ^a	صفر
۶/۷ ^b	۱۳/۸ ^b	۴۰/۹ ^a	۰/۵۷۴ ^a	۲۲/۴ ^b	۳۸/۸ ^b	۱۵۰۰
						اسیدسیتریک (درصد)
۷/۳	۱۴/۳ ^a	۳۹/۱	۰/۵۵۰	۲۴/۸ ^a	۳۹/۴ ^a	صفر
۷/۱	۱۳/۹ ^b	۳۹/۶	۰/۵۵۰	۲۴/۴ ^b	۳۸/۸ ^b	۱
						کلسیم (درصد)
۷/۰ ^b	۱۴/۶ ^a	۳۸/۳ ^b	۰/۵۱۴ ^b	۲۴/۹ ^a	۴۰/۵ ^a	۰/۶
۷/۴ ^a	۱۳/۵ ^b	۴۰/۴ ^a	۰/۵۸۶ ^a	۲۴/۳ ^b	۳۷/۷ ^b	۰/۳
۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۴	۰/۰۱۰	۰/۱	۰/۱	خطای استاندارد میانگین‌ها
P-value						
<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	آنزیم فیتاز
۰/۱۹۴	<۰/۰۰۱	۰/۴۴۱	۰/۹۸۹	۰/۰۲۶	۰/۰۰۶	اسید سیتریک
<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	کلسیم
۰/۰۰۵	۰/۰۱۱	۰/۳۴۷	۰/۵۶۰	<۰/۰۰۱	۰/۸۶۶	آنزیم فیتاز × اسید سیتریک
۰/۲۲۳	<۰/۰۰۱	۰/۱۶۱	۰/۲۶۱	<۰/۰۰۱	۰/۱۹۷	آنزیم فیتاز × کلسیم
<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۰/۷۹۸	۰/۴۱۲	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	اسید سیتریک × کلسیم
۰/۱۰۴	۰/۲۲۴	۰/۵۵۹	۰/۳۰۹	۰/۶۵۵	۰/۸۳۸	آنزیم فیتاز × اسید سیتریک × کلسیم
۰/۸۶۰	۰/۰۷۹	<۰/۰۰۱	۰/۵۴۶	<۰/۰۰۱	۰/۹۸۴	PC vs. 0.6 + Phy ^۱
۰/۰۱۹	۰/۹۶۲	۰/۰۰۲	۰/۳۰۹	<۰/۰۰۱	۰/۲۳۶	PC vs. 0.6 + Phy + CA ^۲

a-c: تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ستون معنی‌دار است (P<۰/۰۵).

۱. کانترست میان تیمار کنترل مثبت و تیمار ۰/۶ درصد کلسیم + ۱۵۰۰ واحد فیتاز در کیلوگرم.
۲. کانترست میان تیمار کنترل مثبت و تیمار ۰/۶ درصد کلسیم + ۱۵۰۰ واحد فیتاز در کیلوگرم + یک درصد اسید سیتریک.

تولیدات دامی

دوره ۲۴ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱

نتایج مربوط به تأثیر جیره‌های آزمایشی بر صفات لاشه در جدول (۶) نشان داده شده است. افزودن فیتاز در جیره جوجه‌های گوشتی منجر به کاهش درصد قلب و پانکراس شد ($P < 0.01$). کاهش سطح کلسیم منجر به افزایش درصد کبد و پانکراس و کاهش درصد چربی شکمی، قلب و پاها شد ($P < 0.05$).

جدول ۶. اثر فیتاز، اسید سیتریک و غلظت کلسیم بر صفات لاشه جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با فسفر غیرفیتات پایین (۴۰ روزگی)

منابع تغییرات	لاشه	چربی شکمی	قلب	کبد	پانکراس	طحال	پاها
درصد از وزن بدن							
کنترل مثبت	۶۴/۴	۱/۵۳	۰/۵۲۵	۲/۸۰	۰/۲۳۹	۰/۱۸۲	۳/۵۰
۰/۶ درصد کلسیم							
صفر درصد اسید سیتریک							
صفر واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم	۶۲/۸	۱/۳۵	۰/۵۸۳	۲/۹۸	۰/۲۶۴	۰/۱۹۲	۳/۸۷
۱۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم	۶۳/۹	۱/۳۹	۰/۵۵۸	۲/۷۴	۰/۲۲۱	۰/۱۸۴	۳/۸۲
یک درصد اسید سیتریک							
صفر واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم	۶۲/۸	۱/۴۵	۰/۶۳۵	۲/۷۳	۰/۲۴۹	۰/۱۹۱	۳/۹۴
۱۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم	۶۲/۹	۱/۵۰	۰/۵۷۳	۲/۷۹	۰/۲۳۵	۰/۱۸۵	۳/۸۷
۰/۳ درصد کلسیم							
صفر درصد اسید سیتریک							
صفر واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم	۶۲/۹	۱/۱۲	۰/۵۴۳	۳/۱۰	۰/۲۸۴	۰/۱۸۳	۳/۶۶
۱۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم	۶۳/۳	۱/۳۷	۰/۵۲۲	۲/۹۸	۰/۲۵۸	۰/۱۹۱	۳/۵۷
یک درصد اسید سیتریک							
صفر واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم	۶۲/۷	۱/۲۵	۰/۵۴۴	۲/۸۶	۰/۲۶۳	۰/۱۹۶	۳/۷۱
۱۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم	۶۲/۴	۱/۲۵	۰/۵۲۶	۳/۰۰	۰/۲۶۲	۰/۱۷۷	۳/۶۱
خطای استاندارد میانگین‌ها	۰/۵	۰/۱۱	۰/۰۱۵	۰/۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۶
آنزیم فیتاز (واحد در کیلوگرم)							
صفر	۶۲/۸	۱/۲۹	۰/۵۷۶ ^a	۲/۹۲	۰/۲۶۵ ^a	۰/۱۹۰	۳/۸۷
۱۵۰۰	۶۳/۱	۱/۳۸	۰/۵۴۷ ^b	۲/۸۸	۰/۲۴۴ ^b	۰/۱۸۴	۳/۶۹
اسید سیتریک (درصد)							
صفر	۶۳/۲	۱/۳۰	۰/۵۵۴	۲/۹۵	۰/۲۵۷	۰/۱۸۷	۳/۷۱
۱	۶۲/۷	۱/۳۶	۰/۵۷۰	۲/۸۵	۰/۲۵۲	۰/۱۸۷	۳/۷۶
کلسیم (درصد)							
۰/۶	۶۳/۱	۱/۲۵ ^b	۰/۵۸۷ ^a	۲/۸۱ ^b	۰/۲۴۳ ^b	۰/۱۸۸	۳/۸۳ ^a
۰/۳	۶۲/۸	۱/۴۲ ^a	۰/۵۳۶ ^b	۲/۹۸ ^a	۰/۲۶۷ ^a	۰/۱۸۷	۳/۶۴ ^b
خطای استاندارد میانگین‌ها	۰/۳	۰/۰۶	۰/۰۰۸	۰/۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۳
P-value							
آنزیم فیتاز	۰/۳۵۲	۰/۳۰۳	۰/۰۱۵	۰/۵۶۸	۰/۰۰۱	۰/۳۵۷	۰/۰۷۲
اسید سیتریک	۰/۱۷۶	۰/۴۹۱	۰/۱۸۱	۰/۱۲۰	۰/۴۶۴	۰/۹۸۵	۰/۲۵۹
کلسیم	۰/۴۹۶	۰/۰۴۲	<۰/۰۰۱	۰/۰۱۰	<۰/۰۰۱	۰/۸۵۹	<۰/۰۰۱
آنزیم فیتاز × اسید سیتریک	۰/۲۴۶	۰/۴۶۵	۰/۳۵۷	۰/۰۳۸	۰/۰۲۶	۰/۳۹۵	۰/۱۶۹
آنزیم فیتاز × کلسیم	۰/۵۱۷	۰/۶۴۰	۰/۲۱۳	۰/۴۵۱	۰/۲۰۹	۰/۸۷۵	۰/۶۸۱
اسید سیتریک × کلسیم	۰/۹۵۴	۰/۵۴۳	۰/۱۲۰	۰/۹۱۹	۰/۵۱۷	۰/۹۹۵	۰/۸۸۰
آنزیم فیتاز × اسید سیتریک × کلسیم	۰/۸۳۳	۰/۴۱۳	۰/۵۰۷	۰/۸۶۷	۰/۹۰۲	۰/۲۹۹	۰/۲۶۴
PC vs. 0.6 + Phy ¹	۰/۵۵۴	۰/۳۴۸	۰/۱۴۳	۰/۶۳۷	۰/۱۲۴	۰/۹۱۵	<۰/۰۰۱
PC vs. 0.6 + Phy + CA ²	۰/۰۵۲	۰/۸۳۲	۰/۰۳۴	۰/۹۵۵	۰/۷۱۳	۰/۸۴۷	۰/۰۰۲

a-c: تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ستون معنی‌دار است ($P < 0.05$).

۱. کانترست میان تیمار کنترل مثبت و تیمار ۰/۶ درصد کلسیم + ۱۵۰۰ واحد فیتاز در کیلوگرم.
۲. کانترست میان تیمار کنترل مثبت و تیمار ۰/۶ درصد کلسیم + ۱۵۰۰ واحد فیتاز در کیلوگرم + یک درصد اسید سیتریک.

تولیدات دامی

دوره ۲۴ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱

اثر فیتاز، اسید سیتریک و غلظت کلسیم بر عملکرد رشد، صفات لاشه و خصوصیات شیمیایی استخوان جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره حاوی فسفر غیرفیتات پایین

افزایش درصد پای پرند به نسبت به تیمار کنترل مثبت مشاهده شد، ولی با کاهش بیش‌تر سطح کلسیم تا سطح ۰/۳ درصد منجر به ایجاد اثر منفی بر درصد پاها شد که با توجه به نتایج درصد کلسیم و فسفر استخوان‌های پا می‌تواند بیان‌گر اختلال در فرایند رسوب عناصر معدنی در استخوان‌ها می‌باشد.

با توجه به نتایج مطالعه حاضر، کاهش سطح کلسیم تا ۰/۶ درصد و مکمل‌نمودن فیتاز در هنگام حذف کامل منوکلسیم فسفات، افزایش وزن روزانه و بازده خوراک را بهبود بخشید، اما اثر فیتاز هنگامی که اسید سیتریک نیز در جیره افزوده شد، بیش‌تر آشکار شده و توانست عملکردی مشابه با جیره‌های مرسوم به‌دست آورد. هم‌چنین شاخص‌های استخوانی پرندگان نیز بهبود یافت. بنابراین، می‌توان استفاده از فیتاز و اسید سیتریک را در جیره‌های با سطح ۰/۶ درصد کلسیم و بدون منبع فسفر معدنی، در صنعت مرغ گوشتی توصیه نمود.

تشکر و قدردانی

از پرسنل مزرعه آموزشی- پژوهشی و مسئولین آزمایشگاه‌های گروه علوم دامی دانشگاه زنجان که در اجرا و پیشبرد این پژوهش نهایت همکاری را نمودند و جناب آقای دکتر رضا صلاحی مقدم، تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان مقاله وجود ندارد.

منابع مورد استفاده

1. Adedokun SA and Adeola O (2013) Calcium and phosphorus digestibility: Metabolic limits. *Journal of Applied Poultry Research*, 22:600-608.
2. Akter M, Graham H and Iji PA (2016) Response of broiler chickens to different levels of calcium, non-phytate phosphorus and phytase. *British Poultry Science*, 57: 799-809.

استفاده هم‌زمان آنزیم فیتاز و اسید سیتریک منجر به کاهش درصد کبد و پانکراس شد ($P < 0/05$). مقایسه نتایج میان کنترل مثبت و تیمارهای ۰/۶ کلسیم+ فیتاز و ۰/۶ کلسیم+ فیتاز+ اسیدسیتریک تنها بر وزن نسبی پاها معنی‌دار بود و باعث افزایش وزن پاها شد ($P < 0/01$).

با توجه به بهبود عملکرد و افزایش وزن پرندگان با افزودن فیتاز به‌تنهایی یا همراه با اسیدسیتریک، کاهش درصد کبد، پانکراس و کبد می‌تواند به‌دلیل کاهش درصد این اندام‌ها نسبت به وزن بدن پرند باشد. از سوی دیگر، گزارش شده است افزودن فیتاز به جیره پرندگان منجر به بهبود عملکرد در هضم و جذب چربی‌ها، متابولیسم اسیدهای آمینه، سیستم غدد درون‌ریز و سیستم ایمنی می‌شود. فسفر فیتات عملکرد آنزیم‌های گوارشی از جمله عملکرد لیپاز پانکراس را کاهش می‌دهد، در نتیجه می‌توان با افزودن فیتاز باعث فعالیت بهینه لیپاز در دستگاه گوارش و کاهش درصد پانکراس شد [۱۶].

موافق با نتایج مطالعه حاضر، بیان شده است استفاده از اسیدسیتریک تفاوت معنی‌داری بر وزن نسبی لاشه و بیش‌تر اجزای لاشه ندارد، درحالی‌که باعث کاهش چربی شکمی می‌شود که در تضاد با نتایج به‌دست‌آمده می‌باشد [۱۰ و ۲۲]. بیان شده است اسیدی شدن ممکن است تکثیر سلولی را افزایش داده و به این ترتیب اندازه ماهیچه را افزایش و منجر به بهبود عملکرد لاشه شود [۱۰].

کاهش سطح کلسیم جیره نیز تأثیر قابل‌توجهی بر درصد لاشه و اندام‌های داخلی جوجه‌های گوشتی نشان داد که با گزارش‌های منتشرشده در این زمینه مطابقت دارد [۲]. از سوی دیگر، با کاهش سطح کلسیم جیره و ایجاد اثر منفی بر فاکتورهای عملکردی پرندگان، می‌توان چنین نتیجه گرفت که افزایش درصد کبد و پانکراس به‌دلیل افزایش درصد از وزن بدن این صفات است. هرچند با کاهش سطح کلسیم جیره تا میزان ۰/۶ درصد

3. Amerah AM, Plumstead PW, Barnard LP and Kumar A (2014) Effect of calcium level and phytase addition on ileal phytate degradation and amino acid digestibility of broilers fed corn-based diets. *Poultry Science*, 93: 906-915.
4. AOAC (2005) Association of Official Agriculture Chemist. Official methods analysis. Washington. D. C.
5. Aviagen (2018) Ross 308 Broiler Nutrition Specification. Aviagen Group. Huntsville Alabama, USA.
6. Bedford M and Rousseau X (2017) Recent findings regarding calcium and phytase in poultry nutrition. *Animal Production Science*, 57(11): 2311-2316.
7. Centeno C, Arijia I, Viveros A and Brenes A (2007) Effects of citric acid and microbial phytase on amino acid digestibility in broiler chickens. *British Poultry Science*, 48: 469-479.
8. Demirel G, Pekel A.Y, Alp M and Kocabağlı N (2012) Effects of dietary supplementation of citric acid, copper, and microbial phytase on growth performance and mineral retention in broiler chickens fed a low available phosphorus diet. *Journal of Applied Poultry Research*, 21: 335-347.
9. Dersjant-Li Y, Evans C and Kumar A (2018) Effect of phytase dose and reduction in dietary calcium on performance, nutrient digestibility, bone ash and mineralization in broilers fed corn-soybean meal-based diets with reduced nutrient density. *Animal Feed Science and Technology*, 242: 95-110.
10. Fik M, Hrnčár C, Hejniš D, Hanusová E, Arpášov H and Bujko J, 2021. The Effect of Citric Acid on Performance and Carcass Characteristics of Broiler Chickens. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 54: 190-195.
11. Khosravinia, H., Nourmohammadi, R. and Afzali, N. 2015. Productive performance, gut morphometry, and nutrient digestibility of broiler chicken in response to low and high dietary levels of citric acid. *J. Appl. Poult. Res.* 00: 1-11.
12. Li T, Xing G, Shao Y, Zhang L, Li S, Lu L, Liu Z, Liao X and Luo X (2020) Dietary calcium or phosphorus deficiency impairs the bone development by regulating related calcium or phosphorus metabolic utilization parameters of broilers. *Poultry Science*, 99(6): 3207-3214.
13. Maenz DD, Engele-Schaan CM, Newkirk RW and Classen HL 1999. The effect of minerals and mineral chelators on the formation of phytase-resistant and phytase susceptible forms of phytic acid in solution and in a slurry of canola meal. *Animal Feed Science and Technology*, 81: 177-192.
14. Mutucumarana RK, Ravindran V, Ravindran G and Cowieson AJ (2014) Measurement of true ileal digestibility and total tract retention of phosphorus in corn and canola meal for broiler chickens. *Poultry Science*, 93: 412-419.
15. Paiva DM, Walk CL and McElroy A.P (2013) Influence of dietary calcium level, calcium source, and phytase on bird performance and mineral digestibility during a natural necrotic enteritis episode. *Poultry Science*, 92(12): 3125-3133.
16. Pieniasek J, Smith KA, Williams MP, Manangi M, Vazquez-Anon KM, Solbak A, Miller M and Lee JT (2016) Evaluation of increasing levels of a microbial phytase in phosphorus deficient broiler diets via live broiler performance, tibia bone ash, apparent metabolizable energy, and amino acid digestibility. *Poultry Science*, 0: 1-13.
17. Proszkowiec-Weglarz M and Angel R (2013) Calcium and phosphorus metabolism in broilers: Effect of homeostatic mechanism on calcium and phosphorus digestibility. *Journal of Applied Poultry Research*, 22: 609-627.
18. SAS (2003) SAS User's Guide: Statistics. SAS Inst. Inc., Cary, NC, US.
19. Shao Y, Xing G, Zhang L, Lyu L, Li S, Liao X and Luo X (2019) Effects of dietary calcium and phosphorus deficiency on growth performance, rickets incidence characters and tibia histological structure of broilers during 1 to 21 days of age. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 31(5): 2107-2118.
20. Sommerfeld V, Schollenberger M, Kühn I and Rodehutschord M (2019) Interactive effects of phosphorus, calcium, and phytase supplements on products of phytate degradation in the digestive tract of broiler chickens. *Poultry Science*, 97: 1177-1188.
21. Taheri HR and Abasi MM (2020) Effect of high-dose phytase and low calcium concentration on performance of broiler chicken given diet severely limited in nonphytate phosphorus. *Journal of Applied Poultry Research*, 29: 817-829.
22. Taheri HR and Mirisakhani L (2020) Effect of citric acid, vitamin D3, and high-dose phytase on performance of broiler chicken fed diet severely limited in non-phytate phosphorus. *Livestock Science*, 241: 104223.

اثر فیتاز، اسید سیتریک و غلظت کلسیم بر عملکرد رشد، صفات لاشه و خصوصیات شیمیایی استخوان جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با جیره حاوی فسفر غیرفیتات پایین

23. UFFDA (1992) User Friendly Feed Formulation. University of Georgia, Athens, GA.
24. Walk CL and Rao SR (2020) Increasing dietary phytate has a significant anti-nutrient effect on apparent ileal amino acid digestibility and digestible amino acid intake requiring increasing doses of phytase as evidenced by prediction equations in broilers. Poultry Science, 99(1): 290-300.
25. Woyengo TA and Nyachoti CM (2013) Anti-nutritional effects of phytic acid in diets for pigs and poultry—current knowledge and directions for future research. Canadian Journal of Animal Science, 93(1): 9-21.