Vol 26, No. 1, Spring 2024

University of Tehran Press

Journal of Animal Production

Online ISSN: 2382-994X

Homepage: https://jap.ut.ac.ir/

The effect of guanidinoacetic acid supplementation to diets with different levels of dietary protein on growth performance and tibia traits of broilers

Seyed Mohammad Ali Mirhosseini[1] | Seyed Naser Mousavi[2]✉ | Ali Afsar[3]

1. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. Email: ma.mirhoseini@urmia.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Varamin-Pishva Branch of Islamic Azad University, Varamin, Iran. Email: snmousavi@hotmail.com
3. Evonik Iran Co. Tehran, Iran. Email: ali.afsar@evonik.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 9 July 2023
Received in revised form
16 February 2024
Accepted 19 February 2024
Published online 15 March 2024

Keywords:
Bone strength
Broilers
Guanidinoacetic acid
Low protein diet

ABSTRACT

Introduction: Guanidinoacetic acid (GAA), a creatine precursor, is synthesized from L-arginine and glycine. The capacity for *de novo* synthesis may be limiting in high-yielding farm animals, especially in those fed all-vegetable diets. As the precursor to creatine, dietary GAA can also effectively "spare" arginine from being used for GAA synthesis, so that the arginine may be used for muscle accretion and other physiological functions. It has been reported that arginine affects bone development by its involvement in the formation of collagen and connective tissue. It also has been shown that reducing the protein level in broiler diets reduces the concentration of manganese and copper in the tibia. Therefore, low-protein diets probably decrease bone density in broilers. This study was conducted to investigate the effects of GAA supplementation to low protein diets on performance, calcium and phosphorus and the strength of the tibia of broiler chickens.

Material and Methods: The 240 male broilers of Ross 308 strain were assigned to 6 dietary treatments in a 3 × 2 factorial arrangement with 4 replications and 10 birds in each replication. Dietary treatments included diets containing 80, 90 and 100% of the breeder recommended ideal protein each containing 0 and 0.06% of GAA. Feed intake, body weight gain and feed conversion ratio (FCR) were measured for the grower (11-24 days), finisher (25-42 days) and the overall period (11-42 days). On d 42, two birds from each experimental unit were killed, and the ash, calcium and phosphorus content and the strength of the tibia of the chickens were measured.

Results and Discussion: The results showed that by reducing the ideal protein to 80% of the breeder recommendation, body weight gain and feed intake was reduced significantly ($P<0.05$). Reduction of the dietary CP from 100 to 80%, resulted in inferior FCR during grower period. The inferior performance of broilers fed reduced protein diets is attributed to a limited availability of amino acids (AA). The supplementation of essential AA alone has failed to increase performance in reduced protein diets. The addition of GAA decreased feed intake of treatments ($P<0.05$) with reduced protein diet (80% of management guide recommendation). Body weight gain and FCR were not affected by dietary GAA supplementation. By reducing dietary protein to 80% of the recommendation, the strength of tibia decreased significantly ($P<0.05$). A low-protein diet may be associated with a hypocalciuretic effect, increased Ca retention and requirement for available P to avoid Ca:P imbalance, hormonal flux, and bone mobilization. Addition of GAA to the diet did not affect the parameters of bone strength. Tibia ash, Ca and P content were not significantly affected by dietary treatments.

Conclusion: According to the results of this experiment, reducing the dietary ideal protein to 80% of the breeder recommendation, resulted in inferior growth performance and tibia strength of broiler chickens, and dietary addition of GAA did not ameliorate those effects.

Cite this article: Mirhosseini, S. M. A., Mousavi, S. N., & Afsar, A. (2024). The effect of guanidinoacetic acid supplementation to diets with different levels of dietary protein on growth performance and tibia traits of broilers. *Journal of Animal Production*, 26 (1), 87-98. DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2024.362002.623750

© The Author(s).
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2024.362002.623750

دوره بیست و ششم، شماره اول، بهار ۱۴۰۳

انتشارات دانشگاه تهران

تولیدات دامی

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۲-۹۹۴x

Homepage: https://jap.ut.ac.ir/

اثرات افزودن گوانیدینواستیک‌اسید به جیره‌های با سطوح مختلف پروتئین جیره بر عملکرد و خصوصیات استخوان درشت‌نی جوجه‌های گوشتی

سید محمدعلی میرحسینی[۱] | سید ناصر موسوی[۲]✉ | علی افسر[۳]

۱. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: ma.mirhoseini@urmia.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین- پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران. رایانامه: snmousavi@hotmail.com

۳. شرکت ایونیک ایران، تهران، ایران. رایانامه: ali.afsar@evonik.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۳۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۵

کلیدواژه‌ها:

استحکام استخوان

جوجه‌های گوشتی

جیره کم‌پروتئین

گوانیدینواستیک‌اسید

چکیده

در این مطالعه اثرات افزودن مکمل گوانیدینواستیک اسید به جیره‌های کم‌پروتئین بر عملکرد، مقدار خاکستر، کلسیم و فسفر و استحکام استخوان درشت‌نی جوجه‌های گوشتی با استفاده از ۲۴۰ قطعه جوجه گوشتی نر سویه راس ۳۰۸ در یک آزمایش فاکتوریل ۲×۳ در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با شش تیمار و چهار تکرار با ۱۰ پرنده در هر تکرار بررسی شد. جیره‌های آزمایشی شامل سه سطح پروتئین جیره (۱۰۰، ۹۰ و ۸۰ درصد از توصیه راس ۳۰۸، ۲۰۰۹) با و بدون افزودن گوانیدینواستیک‌اسید (۰/۰۶ درصد) بودند. نتایج نشان داد که با کاهش سطح پروتئین تا ۸۰ درصد توصیه راهنما، افزایش وزن بدن و خوراک مصرفی کاهش یافت ($P<0/05$). با کاهش پروتئین جیره به ۸۰ درصد میزان توصیه‌شده، استحکام استخوان درشت‌نی کاهش یافت ($P<0/05$). افزودن گوانیدینواستیک‌اسید به جیره حاوی ۸۰ درصد پروتئین از سطح توصیه، سبب کاهش مصرف خوراک شد ($P<0/05$). سطوح مختلف پروتئین جیره با یا بدون گوانیدنیواستیک‌اسید تأثیر معنی‌داری بر درصد خاکستر، کلسیم و فسفر نداشت. افزودن گوانیدینواستیک‌اسید به جیره تأثیری بر فراسنجه‌های استحکام استخوان نداشت. براساس نتایج این آزمایش کاهش سطح پروتئین جیره به اندازه ۸۰ درصد مقدار توصیه‌شده، علاوه بر تأثیر منفی بر عملکرد، سبب کاهش استحکام استخوان جوجه‌های گوشتی می‌شود و استفاده از گوانیدینواستیک‌اسید تأثیری بر رفع کاهش عملکرد و استحکام استخوان ناشی از سطح کاهش یافته پروتئین ندارد.

استناد: میرحسینی، سید محمدعلی؛ موسوی، سید ناصر و افسر، علی (۱۴۰۳). اثرات افزودن گوانیدینواستیک‌اسید به جیره‌های با سطوح مختلف پروتئین جیره بر عملکرد و خصوصیات استخوان درشت‌نی جوجه‌های گوشتی. *نشریه تولیدات دامی*، ۲۶ (۱)، ۸۷-۹۸.

DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2024.362002.623750

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

در طی چند دهه گذشته، پیشرفت‌ها در انتخاب ژنتیکی منجر به بهبود عملکرد جوجه‌های گوشتی از نظر افزایش وزن بدن و کاهش ضریب تبدیل خوراک شده است (Shim *et al.*, 2012). با این‌حال، این رشد سریع‌تر نیز باعث چندین عواقب ناخواسته، از جمله ضعف پا و دیسکوندروپلازی درشت‌نی شده است. کاهش استحکام استخوان، اغلب باعث شکستگی در حین پرورش نمی‌شود، اما شکستگی‌ها در حین بارگیری و انتقال به کشتارگاه‌ها بیش‌تر رخ می‌دهد که منجر به ضرر اقتصادی می‌شود (Talaty *et al.*, 2009). با وجود کاهش وقوع شکستگی در پرورش، لنگش بالینی ممکن است بدون شکستگی ایجاد شود و رفاه پرنده را به خطر بیندازد. معدنی‌شدن ماتریکس استخوان یک عامل محوری است که بر استحکام استخوان در جوجه‌های گوشتی تأثیر می‌گذارد، زیرا اسکلت را قادر می‌سازد تا در برابر فشار و بار اضافی وزن بدن مقاومت کند (Buijs *et al.*, 2012).

پژوهش‌های قبلی اثرات احتمالی غلظت پروتئین در جیره را بر رشد استخوان در گونه‌های مختلف گزارش کردند (Cowieson *et al.*, 2020). پژوهش‌گران نشان دادند که کاهش غلظت پروتئین جیره در جوجه‌های گوشتی به میزان چهار درصد باعث کاهش غلظت منگنز و مس در استخوان درشت‌نی شد (Cowieson *et al.*, 2020). آرژنین یکی از آمینواسیدهایی است که می‌تواند رشد استخوان را از طریق درگیری در تشکیل کلاژن و بافت هم‌بند تحت تأثیر قرار دهد (Corzo *et al.*, 2003). بنابراین، احتمالاً جیره‌های کم پروتئین باعث کاهش تراکم استخوان در جوجه‌های گوشتی و مرغ‌های تخم‌گذار می‌شوند که اهمیت غلظت آرژنین در جیره را برای معدنی‌سازی استخوان نشان می‌دهد (Castro *et al.*, 2019).

گوانیدینواستیک‌اسید، نام رایج N–(آمینوئیمینو– متیل)–گلیسین، هم‌چنین به‌عنوان گلیکوسیامین یا گوانیدینواستات نیز شناخته می‌شود، پیش‌ساز کراتین است که همراه با فسفوکراتین، ذاتاً در متابولیسم انرژی سلولی از طریق بازسازی آدنوزین‌تری‌فسفات نقش دارد (Portocarero and Braun, 2021). گوانیدینواستیک اسید از آرژنین و گلیسین در کلیه تشکیل شده و یکی از پیش‌سازهای مستقیم کراتین است که قابلیت جایگزینی آرژنین در جوجه‌های گوشتی را دارد (DeGroot *et al.*, 2018). از نظر تئوری، گوانیدینواستیک‌اسید دارای پتانسیل ذخیره آرژنین تا ۱۴۹ درصد در جوجه‌های گوشتی بوده (Khajali *et al.*, 2020)، اما در رویکرد محافظه‌کارانه‌تر برای استفاده از نرخ جایگزینی ۷۷ درصددر صنعت طیور رایج است. در حالی که مکمل غذایی ال–آرژنین تأثیر کم‌تری بر متابولیسم انرژی و غلظت کراتین عضلانی دارد، گزارش شده است که مکمل گوانیدینواستیک‌اسید سطح کراتین عضلانی، نسبت فسفوکراتین به ATP در عضلات و افزایش سطح آرژنین سرم را بهبود می‌بخشد (DeGroot *et al.*, 2018).

۲. پیشینهٔ پژوهش

نشان داده شده است که مکمل گوانیدینواستیک‌اسید باعث افزایش عملکرد گوشت سینه (Michiels *et al.*, 2012) و کاهش شدت سینه چوبی در جوجه‌های گوشتی می‌شود (Córdova-Noboa *et al.*, 2018). پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف آرژنین با افزودن مکمل گوانیدینواستیک‌اسید در جیره‌های کم پروتئین موردتوجه قرار گرفته است، هم‌چنین پژوهش‌ها نشان داده است که بخشی از کاهش عملکرد هنگام استفاده از جیره‌های کم‌پروتئین مربوط به کمبود گلایسین است. با توجه به این‌که بخشی از گلایسین به‌عنوان پیش‌ساز گوانیدینواستیک‌اسید مورداستفاده قرار می‌گیرد احتمالاً استفاده از گوانیدینواستیک‌اسید می‌تواند بخشی از گلایسین را در اختیار سنتز پروتئین قرار دهد (Khajali *et al.*, 2020).

کاهش سطح پروتئین خام در جیره طیور به‌دلیل بهبود قابلیت هضم پروتئین و کیفیت بستر، کاهش مصرف آب و کاهش تولید آمونیاک موردتوجه قرار گرفته است (Hilliar *et al.*, 2020). مطالعات مختلف اثرات تغذیه با جیره‌های با

پروتئین کاهش‌یافته را بر عملکرد و قابلیت هضم نیتروژن در جوجه‌های گوشتی بررسی کرده‌اند (Sun *et al.*, 2022). با این‌حال، پژوهش‌ها در مورد اثرات تغذیه با جیره‌های با پروتئین کاهش‌یافته بر استحکام استخوان و وضعیت معدنی‌شدن استخوان در پرندگان اغلب نادیده گرفته شده است. تغییرات در ترکیبات خوراک و ماتریکس مواد مغذی برای فرموله‌کردن جیره‌های با پروتئین کاهش‌یافته، یعنی استفاده بیش‌تر دانه‌های غلات نسبت به کنجاله سویا که ممکن است بر استحکام استخوان و ترکیب شیمیایی استخوان در مقایسه با جیره‌های پروتئینی استاندارد تأثیر بگذارد، چرا که کنجاله سویا حاوی سطوح بالاتری از فسفر و پتاسیم در مقایسه با غلات است (Cowieson *et al.*, 2020). همان‌طورکه ذکر شد آرژنین برای رشد استخوان از طریق درگیری آن در تشکیل کلاژن و بافت هم‌بند مهم است (Corzo *et al.*, 2003). نشان داده شده است که گوانیدینواستیک‌اسید، پیش‌ساز کراتین، دارای اثر حفظ آرژنین در پرندگان است (DeGroot *et al.*, 2018). علاوه بر این، مکمل گوانیدینواستیک‌اسید ممکن است تراکم استخوان درشت‌نی و قدرت شکستگی را در جوجه‌های گوشتی افزایش دهد (Khajali *et al.*, 2020). بنابراین، در این مطالعه تأثیر جیره‌های با پروتئین کاهش‌یافته همراه با گوانیدینواستیک‌اسید بر مقدار کلسیم و فسفر و استحکام استخوان درشت‌نی در جوجه‌های گوشتی بررسی شد. فرض بر این بود که پرندگانی که با جیره‌های کم‌پروتئین و فاقد گوانیدینواستیک‌اسید تغذیه می‌شوند، نسبت به جوجه‌های گوشتی که جیره‌های پروتئین استاندارد تغذیه می‌شوند، استحکام استخوان کم‌تری را داشته باشند و این نقص می‌تواند با افزودن گوانیدینواستیک‌اسید به جیره برطرف شود. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر بررسی امکان استفاده از مکمل گوانیدینواستیک‌اسید در جیره‌های کم‌پروتئین بر صفات عملکردی و استخوانی جوجه‌های گوشتی بود.

۳. روش‌شناسی پژوهش

۳. ۱. مدیریت پرورش و جیره‌های آزمایشی

مطالعه حاضر در سالن مرغداری تحقیقاتی مزرعه دانشکده کشاورزی واحد ورامین پیشوا به‌مدت شش هفته انجام گرفت. در این آزمایش تعداد ۲۴۰ قطعه جوجه گوشتی نر سویه راس ۳۰۸ در شش گروه آزمایشی مورداستفاده قرار گرفتند. جوجه‌ها تا سن ۱۰ روزگی روی بستر پوشال پرورش یافتند و یک جیره پایه یکسان دریافت نمودند، سپس در سن ۱۱ روزگی با میانگین وزن ۲۵۰/۰۸ گرم به قفس‌های باتری منتقل شدند. پس از مشخص‌کردن واحدهای آزمایشی، پرنده‌ها به‌طور تصادفی در شش گروه آزمایشی با چهار تکرار و ۱۰ پرنده در هر تکرار براساس آزمایش طرح فاکتوریل ۲×۳ درقالب طرح بلوک کامل تصادفی تقسیم شدند. قبل از ورود جوجه‌ها، کف بستر با پوشال نجاری به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر پوشانده شد. آب مصرفی و دان موردنیاز به‌صورت آزاد در اختیار پرنده‌ها قرار گرفت. تیمارها شامل جیره با غلظت پروتئین و اسید آمینه براساس توصیه کاتالوگ سویه راس ۳۰۸ و ۱۰ و ۲۰ درصد کم‌تر از توصیه با و بدون مقدار توصیه‌شده مکمل گوانیدینواستیک‌اسید بود. قبل از تنظیم جیره‌ها میزان اسیدهای آمینه و پروتئین مواد خوراکی به‌روش NIR[1] (ایوانیک، ایران) اندازه‌گیری شد. سپس جیره پایه آغازین (یک–۱۰ روزگی)، و جیره‌های آزمایشی رشد (۲۴–۱۱ روزگی) و پایانی (۴۲–۲۵ روزگی) به‌منظور تأمین مواد مغذی موردنیاز توصیه‌شده در راهنمای پرورشی سویه راس ۳۰۸ (Aviagen, 2009) تنظیم شدند.

گروه‌های آزمایشی شامل ۱- جیره حاوی ۸۰ درصد پروتئین توصیه‌شده و بدون مکمل گوانیدینواستیک اسید، ۲- جیره حاوی ۹۰ درصد پروتئین توصیه‌شده و بدون مکمل گوانیدینواستیک اسید، ۳- جیره حاوی ۱۰۰ درصد پروتئین توصیه‌شده و بدون مکمل گوانیدینواستیک‌اسید، ۴- جیره حاوی ۸۰ درصد پروتئین توصیه‌شده با مکمل گوانیدینواستیک‌اسید (۰/۰۶ درصد گوانیدینواستیک‌اسید)، ۵- جیره حاوی ۹۰ درصد پروتئین توصیه‌شده با مکمل

1. Near-infrared

گوانیدینواستیک‌اسید (۰/۰۶ درصد گوانیدینو استیک‌اسید) و ۶- جیره حاوی ۱۰۰ درصد پروتئین توصیه‌شده با مکمل گوانیدینواستیک‌اسید (۰/۰۶ درصد گوانیدینواستیک‌اسید) بودند. منبع گوانیدینواستیک‌اسید مورداستفاده محصول تجاری کرامینو®، (ایوانیک، آلمان) بود. برای حفظ تعادل الکترولیت جیره از کربنات پتاسیم و بی‌کربنات سدیم استفاده شد. اجزا و ترکیبات جیره‌های غذایی در جدول (۱) ذکر شده است.

جدول ۱. مواد خوراکی و ترکیبات شیمیایی جیره‌های غذایی جوجه‌های گوشتی در دوره آغازین، رشد و پایانی

اجزا و ترکیبات	آغازین (یک- ۱۰ روزگی)	رشد (۱۱-۲۴روزگی)		پایانی (۲۵-۴۲ روزگی)	
		درصد پروتئین از مقدار توصیه‌شده			
		۸۰	۹۰	۱۰۰	۸۰	۹۰	۱۰۰
ذرت	۵۳/۶۶	۶۹/۹۲	۶۱/۴۳	۵۴/۱۴	۷۳/۶۵	۶۶/۰۵	۵۹/۸۲
کنجاله سویا	۳۹/۳۷	۲۱/۴۰	۲۹/۷۸	۳۶/۶۳	۱۸/۱۴	۲۵/۶۱	۳۱/۴۷
روغن سویا	۲/۰۲	۲/۳۸	۳/۹۲	۵/۱۵	۲/۵۴	۳/۵۹	۴/۹۹
دی کلسیم فسفات	۲/۲۶	۲/۱۵	۲/۰۹	۲/۰۸	۱/۹۸	۱/۹۳	۱/۸۹
پوسته صدف	۱/۲۰	۱/۰۲	۱/۰۰	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۷
کربنات پتاسیم	–	۰/۶۱	۰/۲۷	–	۰/۵۳	۰/۲۳	–
ال-لیزین	۰/۱۹	۰/۵۵	۰/۳۰	۰/۱۰	۰/۴۴	۰/۲۲	۰/۰۵
دی ال-متیونین	۰/۳۲	۰/۳۹	۰/۳۲	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۲۰
جوش شیرین	۰/۱۰	۰/۲۹	۰/۱۶	۰/۰۶	۰/۲۴	۰/۱۳	۰/۰۴
ال-آرژنین	–	۰/۲۶	۰/۰۳	–	۰/۱۹	–	–
ال-ترئونین	۰/۰۵	۰/۲۲	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۰۷	–
ال-والین	–	۰/۲۰	۰/۰۶	–	۰/۱۴	۰/۲۸	–
ال-ایزولوسین	–	۰/۱۸	۰/۰۴	–	۰/۱۳	۰/۱۴	–
ال- تریپتوفان	–	۰/۰۲	–	–	۰/۱	–	–
مکمل ویتامینی و معدنی	۰/۵۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰
نمک	۰/۲۷	۰/۱۵	۰/۲۳	۰/۳۰	۰/۱۸	۰/۲۵	۰/۳۱
پر کننده	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶
		ترکیبات شیمیایی (محاسبه‌شده)					
انرژی قابل متابولیسم (کیلوکاری بر کیلوگرم)	۲۹۰۰	۳۱۵۰	۳۱۵۰	۳۱۵۰	۳۲۰۰	۳۲۰۰	۳۲۰۰
پروتئین خام (درصد)	۲۲/۳۴	۱۶/۸۰	۱۸/۹۰	۲۱/۰۰	۱۵/۲۰	۱۷/۱۰	۱۹/۰۰
لیزین قابل هضم (درصد)	۱/۳۷	۱/۱۸	۱/۲۰	۱/۲۲	۱/۰۲	۱/۰۳	۱/۰۵
متیونین قابل هضم (درصد)	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۶۰	۰/۵۷	۰/۵۴	۰/۵۱	۰/۴۹
متیونین+سیستئین قابل هضم (درصد)	۱/۰۰	۰/۸۹	۰/۹۰	۰/۹۱	۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۸۰
ترئونین قابل هضم (درصد)	۰/۹۰	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۸۲	۰/۶۹	۰/۷۰	۰/۷۲
تریپتوفان قابل هضم (درصد)	۰/۲۷	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۲۲
آرژنین قابل هضم (درصد)	۱/۴۹	۱/۲۱	۱/۲۴	۱/۴۰	۱/۰۶	۱/۰۸	۱/۲۵
ایزولوسین قابل هضم (درصد)	۰/۹۴	۰/۸۰	۰/۸۱	۰/۸۹	۰/۶۹	۰/۷۰	۰/۷۹
لوسین قابل هضم (درصد)	۱/۸۴	۱/۳۷	۱/۵۸	۱/۷۵	۱/۳۰	۱/۴۸	۱/۶۳
والین قابل هضم (درصد)	۱/۰۳	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۹۸	۰/۷۹	۰/۸۰	۰/۸۸
کلسیم (درصد)	۱/۰۳	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵
فسفر قابل‌دسترس (درصد)	۰/۴۹	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۴۲
سدیم (درصد)	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
تعادل الکترولیتی جیره (میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم)	۲۳۳/۵۸	۲۲۵/۰	۲۲۵/۰	۲۲۵/۰	۲۰۵/۰۰	۲۰۵/۰۰	۲۰۵/۰۰

۱. مکمل ویتامینی و معدنی برای هر کیلوگرم جیره مقادیر زیر را تأمین می‌کند: مقادیر ۱۱۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A، ۴۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D3، ۶۵ واحد بین‌المللی ویتامین E، ۳ میلی‌گرم ویتامین K3، ۳ میلی‌گرم ویتامین B1، ۷ میلی‌گرم ویتامین B2، ۱۵ میلی‌گرم اسید پانتوتنیک، ۵۰ میلی‌گرم نیکوتینیک‌اسید، ۵ میلی‌گرم ویتامین B6، ۲ میلی‌گرم فولیک‌اسید ۰/۱۵ میلی‌گرم ویتامین B12، ۰/۲۵ میلی‌گرم بیوتین و ۱۱۰۰۰ میلی‌گرم کولین کلراید، ۱۰۰ میلی‌گرم منگنز، ۱۰۰ میلی‌گرم روی، ۲۵ میلی‌گرم آهن، ۱۵ میلی‌گرم مس، ۱ میلی‌گرم ید و ۰/۲ میلی‌گرم سلنیوم

۳. ۲. صفات عملکردی

مصرف خوراک، وزن بدن، افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک در کل دوره (۱۱ تا ۴۲ روزگی) اندازه‌گیری شد. برای محاسبه عملکرد در هر مرحله پرورشی از روش روز جوجه استفاده شد تا رشد و مصرف خوراک جوجه‌های تلف‌شده در طی آزمایش منظور شود و از دقت آزمایش کاسته نشود.

۳. ۳. استحکام استخوان درشت نی

برای بررسی اثرات جیره‌های آزمایشی بر استحکام استخوان درشت‌نی، در سن ۴۲ روزگی از هر واحد آزمایشی دو قطعه پرنده کشتار شد. استخوان درشت‌نی پای چپ جوجه‌های کشتارشده پس از جداکردن تمامی بافت‌های اطراف آن به داخل فریزر منتقل گردیدند. استحکام استخوان درشت‌نی پای چپ در برابر فشار برحسب مقیاس نیوتن بر متر اندازه‌گیری شد (Rath *et al.*, 2000). این آزمایش توسط دستگاه Santam (مدل STM-5، ایران) در آزمایشگاه خواص فیزیکی واقع در گروه ماشین‌آلات کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. دستگاه دارای دو فک (گیره) قابل تنظیم بود که نمونه استخوان درشت‌نی پا بر روی آن دو فک قرار گرفته و یک اهرم از بالا به نمونه فشار وارد کرده و باعث شکسته‌شدن نمونه‌ها شد. این اهرم توسط یک بازوی مکانیکی که توسط نرم‌افزار کنترل می‌شد به نمونه فشار وارد می‌کرد. اهرم هم به‌وسیله خود دستگاه و هم به‌وسیله نرم‌افزار قابل‌تنظیم بود. برای انجام کار ابتدا نمونه بین دو فک قرار داده شده و اهرم به‌صورت مماس با استخوان قرار گرفت و نرم‌افزار را فعال کرده و اهرم تحت کنترل نرم‌افزار به‌وسیله بازوی مکانیکی به نمونه برحسب نیوتن بر متر فشار وارد شد تا جایی‌که منجر به شکسته‌شدن (اولین نشانه ترک‌خوردگی) نمونه گردید و فشاری که باعث شکسته‌شدن نمونه گردید ثبت شد.

۳. ۴. ترکیب مواد معدنی استخوان

برای اندازه‌گیری خاکستر استخوان درشت‌نی، ابتدا نمونه‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد اتوکلاو شدند. این امر برای جداسازی بافت‌های نرم انجام گرفت. سپس استخوان درشت‌نی توزین و به داخل کوره الکتریکی منتقل و به‌مدت ۱۲ ساعت در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (AOAC, 1990). بعد از خروج از کوره و سردشدن، خاکستر باقیمانده توزین و درصد خاکستر هر نمونه به‌طور جداگانه محاسبه شد. کلسیم استخوان درشت‌نی با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Varian SpectrAA 50B Atomic Absorption Spectrometer: Varian Ltd, USA) و میزان فسفر آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Jenway Genova MK3, UK) براساس روش‌های AOAC (AOAC, 1990) اندازه‌گیری شدند.

۳. ۵. تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های حاصل با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۴۱) برای مدل (۱) تجزیه و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSMEANS در سطح معنی‌داری پنج درصد مقایسه شدند.

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + a_j + b_k + (ab)_{jk} + e_{ijk}$$ رابطه ۱)

که در این رابطه، Y_{ijk}، مقدار هر مشاهده؛ μ، اثر میانگین جامعه؛ R_i، اثر بلوک (طبقات قفس)؛ a_j، اثر سطح پروتئین؛ b_k، اثر مکمل گوانیدینواستیک‌اسید؛ $(ab)_{jk}$، اثر متقابل سطح پروتئین و گوانیدینواستیک‌اسید و e_{ijk}، خطای آزمایشی است.

۴. یافته‌های پژوهش

۴. ۱. عملکرد

مقادیر میانگین افزایش وزن بدن، مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک دوره رشد، پایانی و میانگین کل دوره (۱۱ تا ۴۲ روزگی) در جدول (۲) ارائه شده است. افزایش وزن بدن، مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک تحت تأثیر گوانیدینواستیک‌اسید قرار نگرفتند. افزایش وزن بدن در دوره رشد، پایانی و میانگین کل دوره و میانگین مصرف خوراک کل دوره تحت تأثیر سطح پروتئین خام جیره قرار گرفتند. سطح ۸۰ درصد پروتئین خام نسبت به سطح استاندارد و ۹۰ درصد باعث کاهش مصرف خوراک (در دوره رشد، پایانی و میانگین کل دوره) و افزایش وزن روزانه (میانگین کل دوره) شد (P<۰/۰۵)، اما ضریب تبدیل خوراک دوره رشد و میانگین کل دوره به‌طور معنی‌دار با کاهش سطح پروتئین به ۸۰ درصد سطح استاندارد افزایش یافت. مصرف خوراک در دوره رشد، پایانی و میانگین کل دوره تحت تأثیر اثر متقابل گوانیدینواستیک‌اسید و سطح پروتئین جیره قرار گرفت و جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره حاوی گوانیدینواستیک‌اسید و سطح پروتئین استاندارد و ۹۰ درصد مصرف خوراک بالاتری نسبت به سایر تیمارها داشتند (P<۰/۰۵).

جدول ۲. اثرات تیمارهای آزمایشی بر عملکرد جوجه‌های گوشتی سویه راس ۳۰۸ در دوره‌های رشد، پایانی و میانگین کل دوره

تیمار	سطح	افزایش وزن (گرم)			مصرف خوراک (گرم)			ضریب تبدیل خوراک		
		۲۴-۱۱ روزگی	۴۲-۲۵ روزگی	۴۲-۱۱ روزگی	۲۴-۱۱ روزگی	۴۲-۲۵ روزگی	۴۲-۱۱ روزگی	۲۴-۱۱ روزگی	۴۲-۲۵ روزگی	۴۲-۱۱ روزگی
اثرات اصلی										
گوانیدینواستیک										
۰/۰۶		۶۶۶/۴۳	۱۳۴۱/۸۳	۲۰۰۸/۲۵	۱۰۱۵/۳۴	۲۸۱۸/۵۵	۳۸۳۳/۸۹	۱/۵۳	۲/۱۰	۱/۹۱
صفر		۶۴۹/۲۵	۱۳۴۸/۲۷	۱۹۹۷/۵۲	۱۰۰۷/۵۷	۲۸۱۶/۶۸	۳۸۲۴/۲۴	۱/۵۵	۲/۰۹	۱/۹۱
خطای استاندارد		۸/۷۵	۲۹/۰۴	۲۹/۲۴	۱۲/۲۳	۳۵/۳۹	۳۰/۴۳	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲
سطح احتمال		۰/۱۷	۰/۸۷	۰/۷۹	۰/۶۴	۰/۹۷	۰/۸۲	۰/۴۰	۰/۸۱	۰/۹۵
پروتئین خام										
۱۰۰		۶۸۳/۶۳^{a}	۱۴۱۲/۵۵^{a}	۲۰۹۶/۱۸^{a}	۱۰۲۲/۰۰	۲۸۵۰/۴۴	۳۸۷۱/۴۴^{a}	۱/۴۹^{b}	۲/۰۲	۱/۸۵
۹۰		۶۸۴/۶۵^{a}	۱۳۳۷/۷۴^{ab}	۲۰۲۲/۳۹^{a}	۱۰۲۴/۱۶	۲۸۶۸/۳۸	۳۸۹۲/۵۴^{a}	۱/۵۰^{b}	۲/۱۵	۱/۹۳
۸۰		۶۰۵/۲۴^{b}	۱۲۸۴/۸۵^{b}	۱۸۹۰/۱۰^{b}	۹۸۸/۲۰	۲۷۳۴/۰۳	۳۷۲۲/۲۳^{b}	۱/۶۳^{a}	۲/۱۲	۱/۹۷
خطای استاندارد		۱۰/۹۱	۳۵/۵۷	۳۵/۸۱	۱۵/۲۴	۴۳/۳۴	۳۷/۲۷	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۳
سطح احتمال		۰/۰۰۱	۰/۰۴	۰/۰۰۳	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۱۶	۰/۰۶
اثر متقابل										
سطح گوانیدینواستیک‌اسید	سطح پروتئین									
۰/۰۶	۱۰۰ پروتئین خام	۶۹۱/۳۷	۱۴۲۵/۴۵	۲۱۱۶/۸۲	۱۰۳۴/۰۰^{a}	۲۸۶۸/۲۵^{ab}	۳۹۰۲/۲۵^{a}	۱/۴۹	۲/۰۱	۱/۸۴
	۹۰ پروتئین خام	۷۰۳/۳۲	۱۳۶۲/۶۵	۲۰۶۵/۹۷	۱۰۴۴/۰۰^{a}	۲۹۵۳/۰۲^{a}	۳۹۹۷/۰۲^{a}	۱/۴۹	۲/۱۷	۱/۹۴
	۸۰ پروتئین خام	۶۰۴/۵۷	۱۲۳۷/۳۷	۱۸۴۱/۹۵	۹۶۸/۰۲^{b}	۲۶۳۴/۳۷^{b}	۳۶۰۲/۴۰^{b}	۱/۶۰	۲/۱۳	۱/۹۶
صفر	۱۰۰ پروتئین خام	۶۷۵/۸۷	۱۳۹۹/۶۵	۲۰۷۵/۵۲	۱۰۱۰/۰۰^{ab}	۲۸۳۲/۶۲^{ab}	۳۸۴۲/۶۲^{a}	۱/۴۹	۲/۰۳	۱/۸۵
	۹۰ پروتئین خام	۶۶۵/۹۷	۱۳۱۲/۸۲	۱۹۷۸/۰۰	۱۰۰۴/۳۲^{ab}	۲۷۸۳/۷۲^{ab}	۳۷۸۸/۰۵^{ab}	۱/۵۱	۲/۱۳	۱/۹۲
	۸۰ پروتئین خام	۶۰۵/۹۷	۱۳۳۲/۳۲	۱۹۳۸/۲۵	۱۰۰۸/۳۷^{ab}	۲۸۳۳/۷۲^{ab}	۳۸۴۲/۰۵^{a}	۱/۶۶	۲/۱۲	۱/۹۸
خطای استاندارد		۱۵/۸۷	۵۰/۳۱	۵۰/۶۴	۲۲/۱۷	۶۰/۳۰	۵۲/۷۱	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۴
سطح احتمال		۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰۲	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۴

a, b: تفاوت میانگین ها در هر ستون با حروف متفاوت معنی‌دار است (P<۰/۰۵).

۴. ۲. خصوصیات استخوان

جدول (۳) استحکام و مواد معدنی استخوان درشت‌نی جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره‌های آزمایشی را در سن ۴۲ روزگی نشان می‌دهد. افزودن گوانیدینواستیک‌اسید تأثیر معنی‌داری بر استحکام استخوان در مقایسه با گروه بدون مکمل نداشت. سطح ۸۰ درصد نسبت به سطح استاندارد و ۹۰ درصد باعث کاهش استحکام استخوان درشت‌نی شد. سطوح مختلف پروتئین جیره با یا بدون گوانیدینواستیک‌اسید تأثیر معنی‌داری بر درصد خاکستر، کلسیم و فسفر نداشت.

جدول ۳. اثرات تیمارهای آزمایشی بر استحکام و مواد معدنی استخوان درشت‌نی جوجه‌های گوشتی

تیمار	سطح	استحکام استخوان (نیوتن بر متر)	خاکستر (درصد)	کلسیم (درصد)	فسفر (درصد)
اثرات اصلی					
گوانیدینواستیک					
۰/۰۶		۲۶۴/۹۲	۴۴/۲۴	۳۳/۳۳	۱۴/۹۵
صفر		۲۷۰/۱۷	۴۳/۵۱	۳۲/۸۰	۱۴/۵۸
خطای استاندارد		۱۱/۵۸	۱/۸۲	۰/۴۸	۰/۵۹
سطح احتمال		۰/۷۵	۰/۴۸	۰/۲۹	۰/۷۲
پروتئین خام					
۱۰۰		۳۰۷/۱۹[a]	۴۵/۱۷	۳۳/۵۰	۱۵/۴۸
۹۰		۲۶۴/۵۰[ab]	۴۴/۰۱	۳۳/۱۲	۱۴/۶۳
۸۰		۲۳۰/۹۴[b]	۴۲/۴۲	۳۲/۵۷	۱۴/۱۹
خطای استاندارد		۱۴/۱۸	۱/۵۴	۰/۸۳	۰/۶۰
سطح احتمال		۰/۰۰۲	۰/۳۵	۰/۷۳	۰/۳۹
اثر متقابل					
سطح گوانیدینواستیک‌اسید	سطح پروتئین				
۰/۰۶	۱۰۰ پروتئین خام	۳۰۶/۱۲	۴۵/۷۳	۳۳/۶۲	۱۵/۸۴
	۹۰ پروتئین خام	۲۵۴/۰۰	۴۴/۶۸	۳۳/۵۱	۱۴/۷۲
	۸۰ پروتئین خام	۲۳۴/۶۲	۴۲/۳۲	۳۲/۸۵	۱۴/۳۱
صفر	۱۰۰ پروتئین خام	۳۰۸/۲۵	۴۴/۶۱	۳۳/۳۸	۱۵/۱۲
	۹۰ پروتئین خام	۲۷۵/۰۰	۴۳/۳۵	۳۲/۷۴	۱۴/۵۵
	۸۰ پروتئین خام	۲۲۷/۲۵	۴۲/۵۹	۳۲/۲۹	۱۴/۰۸
خطای استاندارد		۲۰/۰۵	۱/۶۸	۰/۵۹	۰/۴۳
سطح احتمال		۰/۷۷	۰/۲۱	۰/۴۹	۰/۱۶

a, b: تفاوت میانگین ها در هر ستون با حروف متفاوت معنی‌دار است (P<۰/۰۵).

۵. بحث

به‌طور کلی، پژوهش حاضر نشان داد که گوانیدینواستیک‌اسید اثر معنی‌داری بر مصرف خوراک و افزایش وزن بدن ندارد. این مشاهدات مخالف با این فرضیه است که مکمل گوانیدینواستیک‌اسید می‌تواند غلظت کراتین و آدنوزین‌تری‌فسفات را در بافت‌های جوجه‌های گوشتی که با جیره‌های کم‌پروتئین تغذیه می‌شوند، افزایش دهد و بر این اساس مدیریت انرژی سلولی و عملکرد پرنده را بهبود بخشد. نتایج حاضر مخالف با مطالعات دیگر می‌باشد که اثرات مفید گوانیدینواستیک‌اسید بر عملکرد جوجه‌های گوشتی مشاهده شده است و تبدیل گوانیدینواستیک‌اسید به کراتین با افزایش سطح کراتین سرم و ماهیچه تشخیص داده شد (Córdova-Noboa *et al.*, 2018).

کراتین نقش مهمی در متابولیسم انرژی سلولی، به‌ویژه در ذخیره‌سازی انرژی متصل به فسفات دارد. ازآنجایی‌که سنتز کراتین یک مسیر مهم در متابولیسم اسیدهای آمینه، به‌ویژه آرژنین و متیونین است، که این نشان‌دهنده نقش غیرقابل انکار کراتین در متابولیسم اسیدهای آمینه و پروتئین می‌باشد (Ostojic, 2016). بنابراین، مکمل گوانیدینواستیک‌اسید می‌تواند به‌ویژه در جیره سویه‌های جوجه‌های گوشتی با رشد سریع به‌دلیل نیازهای بالای انرژی و تغذیه برای تأمین کراتین عضلانی مفید باشد (Michiels *et al.*, 2012). ممکن است انرژی خالص بالاتر برای تولید، یکی دیگر از دلایل زمینه‌ساز اثرات مثبت گوانیدینواستیک‌اسید در جوجه‌های با رشد سریع باشد، که می‌تواند با افزایش ظرفیت بافری ATP توسط هیدرولیز فسفوکراتین در ماهیچه‌ها مرتبط باشد (Ale Saheb Fosoul *et al.*, 2018). با این‌حال، در مطالعه حاضر این اثر مثبت مشاهده نشد که می‌تواند به‌دلیل سطوح مختلف گوانیدینواستیک‌اسید و سطوح مواد مغذی جیره پایه نسبت به سایر مطالعات (Majdeddin *et al.*, 2018) باشد. داده‌های مربوط به مصرف خوراک نشان‌دهنده کاهش مصرف در جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره‌های کم پروتئین است. با این‌حال، این پارامتر در پرندگانی که با مکمل گوانیدینواستیک‌اسید تغذیه شدند، بدون تغییر باقی ماند. در مطالعات مختلف انجام‌شده، نتایج متناقضی با توجه به تأثیر گوانیدینواستیک‌اسید بر مصرف خوراک به‌دست آمده است. به‌عنوان مثال، پژوهش‌گران (Majdeddin *et al.*, 2018) کاهش مصرف خوراک در جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره‌های مکمل با ۱/۲ گرم بر کیلوگرم گوانیدینواستیک‌اسید گزارش کردند. درحالی‌که پژوهش‌گران دیگر (DeGroot *et al.*, 2018) تغییری در مصرف خوراک در جوجه‌های گوشتی به‌دلیل مصرف ۰/۰۶ و ۰/۱۲ درصد مکمل گوانیدینواستیک‌اسید گزارش نکردند.

ضریب تبدیل خوراک نیز تحت تأثیر مکمل گوانیدینواستیک‌اسید قرار نگرفت، اما با کاهش سطح پروتئین جیره به‌صورت معنی‌دار افزایش یافت. مکمل گوانیدینواستیک‌اسید می‌توانند آرژنین را در بدن ذخیره کنند و با تأثیر بر متابولیسم و استفاده از آرژنین، عملکرد رشد را بهبود بخشد (DeGroot *et al.*, 2018). علاوه بر این، گوانیدینواستیک‌اسید به‌عنوان یک پیش‌ساز مؤثر کراتین، متابولیسم انرژی ماهیچه‌ها را ارتقا می‌دهد و تجزیه کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها و پروتئین‌ها را برای تأمین انرژی کاهش می‌دهد، بنابراین رشد حیوانات را در سطح ۴۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تسریع می کند و استفاده از خوراک را بهبود می‌بخشد (Zhu *et al.*, 2020). با این وجود، در توافق با یافته‌های ما، پژوهش‌گران اثر معنی‌داری از ۱/۲ گرم در کیلوگرم مکمل گوانیدینواستیک‌اسید بر ضریب تبدیل خوراک جوجه‌های گوشتی مشاهده نکردند (Nasiroleslami *et al.*, 2018). علاوه بر این، یک مطالعه قبلی نشان داد که ۰/۰۵ درصد مکمل گوانیدینواستیک‌اسید تأثیری بر مصرف خوراک نداشت، درحالی‌که بهبود افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک در دوره پایانی (۲۲–۴۲ روزگی) را گزارش کردند (Ibrahim *et al.*, 2019). هم‌چنین در مطالعه دیگری نشان دادند که گوانیدینواستیک‌اسید جیره باعث کاهش ضریب تبدیل خوراک شد، اما هیچ تأثیری بر افزایش وزن بدن و مصرف خوراک جوجه‌های گوشتی نداشت (Zhao *et al.*, 2021). نتایج متناقض یافت‌شده در این مطالعه و سایر مطالعات احتمالاً به‌دلیل سطوح مختلف گوانیدینواستیک‌اسید، سطوح مواد مغذی جیره و عوامل محیطی است. در پژوهشی با بررسی اثر سطوح مختلف پروتئین خام (۱۶، ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ درصد) در تغذیه جوجه‌های گوشتی آربورآکرز، افزایش معنی‌دار ضریب تبدیل خوراک را با کاهش سطوح پروتئین جیره گزارش کردند (Cheng *et al.*, 1997). اثر مثبت سطح توصیه‌شده پروتئین جیره بر افزایش وزن نسبت به ۸۰ درصد سطح توصیه را می‌توان به تأمین کافی احتیاجات پروتئین و اسیدهای آمینه ضروری یا استفاده از انرژی حاصل از اسکلت کربنی اسیدهای آمینه مازاد نسبت داد.

پروتئین جیره که جزء مهمی از ماتریکس ساختاری استخوان را تشکیل می‌دهد، با تأثیر بر غلظت فاکتور رشد شبه‌انسولین سرم و جذب و دفع کلسیم، نقش مهمی در کیفیت استخوان ایفا می‌کند (Heaney & Layman, 2008). با

وجود رابطه بین پروتئین و معدنی‌شدن استخوان، مطالعاتی که اثرات کاهش غلظت پروتئین جیره و یا عدم تعادل اسید آمینه بر ترکیب مواد معدنی استخوان را اندازه‌گیری کردند، محدود هستند. پژوهش‌گران (Castro *et al.*, 2019) کاهش تراکم مواد معدنی استخوان را در جوجه‌های گوشتی با جیره غذایی فاقد آرژنین در مقایسه با جوجه‌هایی که از جیره با سطح کافی آرژنین تغذیه می‌کردند گزارش کردند. محمود و همکاران (۲۰۱۶) مشاهده کردند که کاهش ۱۲ درصد پروتئین خام جیره جوجه‌های گوشتی باعث افزایش سطح سرمی کلسیم، سدیم، منیزیم و روی می‌شود، بنابراین پیشنهاد شده است که اثر افزایش کلسیم خون جیره‌های کم‌پروتئین ممکن است با کاهش بازجذب کلسیم در نتیجه اثر هیپوکلسیورتیک به‌دنبال تغییر در عملکرد کلیه مرتبط باشد (Cowieson *et al.*, 2020). نشان داده شده است که افزایش سطوح مکمل گوانیدینواستیک‌اسید از ۰/۳۰۹ درصد به ۰/۶۱۸ درصد در جیره جوجه‌های گوشتی باعث افزایش تراکم مواد معدنی استخوان درشت‌نی و استخوان ران می‌شود (Dao *et al.*, 2021). اما نتایج آزمایش حاضر نشان داد که افزودن مکمل گوانیدینواستیک‌اسید به جیره کم‌پروتئین تأثیری بر استحکام استخوان درشت‌نی نداشت. احتمالاً یکی از دلایل عدم بهبود در خصوصیات استخوانی عدم تأثیر گوانیدینواستیک‌اسید بر قابلیت هضم مواد معدنی جیره باشد، به‌طوری‌که پژوهش‌گران (Dao *et al.*, 2022) گزارش دادند گوانیدینواستیک‌اسید تأثیری بر قابلیت هضم مواد معدنی (روی، سدیم و منگنز) در جیره کم‌پروتئین ندارد. با این‌حال، همسو با مطالعه حاضر غلظت کلسیم و فسفر استخوان درشت‌نی تحت تأثیر مکمل گوانیدینواستیک‌اسید قرار نگرفت (Zhu *et al.*, 2019).

فسفر نقش مهمی در رشد استخوان ایفا می‌کند (Rondanelli *et al.*, 2020) و به‌عنوان یک ماده مغذی ضروری در متابولیسم و استفاده از ماکرو معدنی در نظر گرفته شده است. بنابراین، کمبود فسفر ممکن است تشکیل و نگهداری استخوان را کاهش دهد و منجر به پوکی استخوان شود (Rondanelli *et al.*, 2020). با این‌حال، استفاده از مکمل گوانیدینواستیک‌اسید در جیره‌های کم‌پروتئین ممکن است رقابت جذب محل برای مواد معدنی در روده را افزایش دهد، بنابراین قابلیت هضم کلسیم و فسفر را در گروه‌های مربوطه کاهش می‌دهد (Dao *et al.*, 2022). برخی پژوهش‌گران (Skinner *et al.*, 1991) تأکید کردند که افزایش غلظت اسیدآمینه جیره (از ۸۰ درصد به ۱۲۰ درصد نیاز اسید آمینه) ممکن است به حفظ رشد طبیعی استخوان‌ها کمک کند، اما ممکن است میزان خاکستر استخوان و کلسیفیکاسیون را در جوجه‌های گوشتی کاهش دهد که احتمالاً به‌دلیل تعامل بین کلسیم و غلظت اسید آمینه جیره است.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

براساس نتایج حاصل، تغذیه جوجه‌های گوشتی با جیره کم‌پروتئین سبب کاهش استحکام استخوان درشت‌نی می‌شود و استفاده از مکمل گوانیدینواستیک‌اسید تا سطح ۰/۰۶ درصد جیره تأثیری بر کاهش اثرات منفی جیره‌های کم‌پروتئین بر استحکام استخوان درشت‌نی ندارد.

۷. تشکر و قدردانی

از دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین–پیشوا (ورامین–تهران) به‌دلیل تأمین منابع مالی و امکانات برای انجام پژوهش حاضر، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

Ale Saheb Fosoul, S. S., Azarfar, A., Gheisari, A., & Khosravinia, H. (2019). Performance and physiological responses of broiler chickens to supplemental guanidinoacetic acid in arginine-deficient diets. *British poultry science*, *60*(2), 161-168.

AOAC, B. A. M. (1990). *Association of official analytical chemists*. Official methods of analysis, 12.

Aviagen. (2009). *Parent Stock Management Handbook*: Ross.

Buijs, S., Van Poucke, E., Van Dongen, S., Lens, L., Baert, J., & Tuyttens, F. A. (2012). The influence of stocking density on broiler chicken bone quality and fluctuating asymmetry. *Poultry science*, *91*(8), 1759-1767.

Castro, F. L. S., Su, S., Choi, H., Koo, E., & Kim, W. K. (2019). L-Arginine supplementation enhances growth performance, lean muscle, and bone density but not fat in broiler chickens. *Poultry science*, *98*(4), 1716-1722.

Cheng, T. K., Hamre, M. L., & Coon, C. N. (1997). Effect of environmental temperature, dietary protein, and energy levels on broiler performance. *Journal of Applied Poultry Research*, *6*(1), 1-17.

Córdova-Noboa, H. A., Oviedo-Rondón, E. O., Sarsour, A. H., Barnes, J., Ferzola, P., Rademacher-Heilshorn, M., & Braun, U. (2018). Performance, meat quality, and pectoral myopathies of broilers fed either corn or sorghum based diets supplemented with guanidinoacetic acid. *Poultry science*, *97*(7), 2479-2493.

Corzo, A., Moran Jr, E. T., & Hoehler, D. (2003). Arginine need of heavy broiler males: Applying the ideal protein concept. *Poultry Science*, *82*(3), 402-407.

Cowieson, A. J., Perez-Maldonado, R., Kumar, A., & Toghyani, M. (2020). Possible role of available phosphorus in potentiating the use of low-protein diets for broiler chicken production. *Poultry science*, *99*(12), 6954-6963.

Dao, H. T., Moss, A. F., Bradbury, E. J., & Swick, R. A. (2022). Bone mineralisation status of broilers fed reduced-protein diets supplemented with L-arginine, guanidinoacetic acid and L-citrulline. *Animal Production Science*, *62*(6), 539-553.

Dao, H. T., Sharma, N. K., Bradbury, E. J., & Swick, R. A. (2021). Response of meat chickens to different sources of arginine in low-protein diets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, *105*(4), 731-746.

DeGroot, A. A., Braun, U., & Dilger, R. N. (2018). Efficacy of guanidinoacetic acid on growth and muscle energy metabolism in broiler chicks receiving arginine-deficient diets. *Poultry science*, *97*(3), 890-900.

Heaney, R. P., & Layman, D. K. (2008). Amount and type of protein influences bone health. *The American journal of clinical nutrition*, *87*(5), 1567S-1570S.

Hilliar, M., Hargreave, G., Girish, C. K., Barekatain, R., Wu, S. B., & Swick, R. A. (2020). Using crystalline amino acids to supplement broiler chicken requirements in reduced protein diets. *Poultry Science*, *99*(3), 1551-1563.

Ibrahim, D., El Sayed, R., Abdelfattah-Hassan, A., & Morshedy, A. M. (2019). Creatine or guanidinoacetic acid? Which is more effective at enhancing growth, tissue creatine stores, quality of meat, and genes controlling growth/myogenesis in Mulard ducks. *Journal of Applied Animal Research*, *47*(1), 159-166.

Khajali, F., Lemme, A., & Rademacher-Heilshorn, M. (2020). Guanidinoacetic acid as a feed supplement for poultry. *World's Poultry Science Journal*, *76*(2), 270-291.

Majdeddin, M., Golian, A., Kermanshahi, H., Michiels, J., & De Smet, S. (2018). Effects of methionine and guanidinoacetic acid supplementation on performance and energy metabolites in breast muscle of male broiler chickens fed corn-soybean diets. *British poultry science*, *60*(5), 554-563.

Mahmood, A., Khaliq, T., Sajjad-ur-Rahman, Z. U. R., Khan, J. A., Muzaffar, H., Ali, A., & Iftikhar, A. (2016). Immunomodulation and strengthening of serum mineral profile by dietary supplementation of protein, probiotics and vitamins (C and E) in molted layer breeders. *Pak J Agric Sci*, *53*, 265-70.

Michiels, J., Maertens, L., Buyse, J., Lemme, A., Rademacher, M., Dierick, N. A., & De Smet, S. (2012). Supplementation of guanidinoacetic acid to broiler diets: effects on performance, carcass characteristics, meat quality, and energy metabolism. *Poultry science*, *91*(2), 402-412.

Nasiroleslami, M., Torki, M., Saki, A. A., & Abdolmohammadi, A. R. (2018). Effects of dietary guanidinoacetic acid and betaine supplementation on performance, blood biochemical parameters and antioxidant status of broilers subjected to cold stress. *Journal of applied animal research*, *46*(1), 1016-1022.

Ostojic, S. M. (2016). Guanidinoacetic acid as a performance-enhancing agent. *Amino acids*, *48*, 1867-1875.

Rondanelli, M., Faliva, M. A., Peroni, G., Infantino, V., Gasparri, C., Iannello, G., & Tartara, A. (2020). Pivotal role of boron supplementation on bone health: A narrative review. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, *62*, 126577.

Rath, N. C., Huff, G. R., Huff, W. E., & Balog, J. M. (2000). Factors regulating bone maturity and strength in poultry. *Poultry science*, *79*(7), 1024-1032.

Portocarero, N., & Braun, U. (2021). The physiological role of guanidinoacetic acid and its relationship with arginine in broiler chickens. *Poultry Science*, 100(7): 101203.

Shim, M. Y., Karnuah, A. B., Mitchell, A. D., Anthony, N. B., Pesti, G. M., & Aggrey, S. E. (2012). The effects of growth rate on leg morphology and tibia breaking strength, mineral density, mineral content, and bone ash in broilers. *Poultry Science*, *91*(8), 1790-1795.

Skinner, J. T., Beasley, J. N., & Waldroup, P. W. (1991). Effects of dietary amino acid levels on bone development in broiler chickens. *Poultry Science*, *70*(4), 941-946.

Sun, M., Ma, N., Liu, H., Liu, Y., Zhou, Y., Zhao, J., ... & Lin, H. (2022). The optimal dietary arginine level of laying hens fed with low-protein diets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *13*(1), 1-15.

Talaty, P. N., Katanbaf, M. N., & Hester, P. Y. (2009). Life cycle changes in bone mineralization and bone size traits of commercial broilers. *Poultry science*, *88*(5), 1070-1077.

Zhu, Z., Gu, C., Hu, S., Li, B., Zeng, X., & Yin, J. (2020). Dietary guanidinoacetic acid supplementation improved carcass characteristics, meat quality and muscle fibre traits in growing–finishing gilts. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, *104*(5), 1454-1461.

Zhu, Z., Yan, L., Hu, S., An, S., Lv, Z., Wang, Z., & Zhang, A. (2019). Effects of the different levels of dietary trace elements from organic or inorganic sources on growth performance, carcass traits, meat quality, and faecal mineral excretion of broilers. *Archives of animal nutrition*, *73*(4), 324-337.