

Glycine and Threonine interactive effects in low crude protein diets on performance and carcass traits of broiler chickens

Z Hosseinzadeh¹, H Janmohammadi^{*2}, A Taghizadeh², A Hosseinkhani² and M Olyae³

Received: 2023-07-28

Revised: 2024-10-28

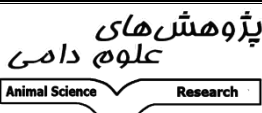
Accepted: 2025-02-10

¹ PhD Student, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

² Professors, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³ Associated Professors, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

*Corresponding author: janmohammadi@tabrizu.ac.ir

 پژوهش‌های دامی علوم دامی Animal Science Research	Journal of Animal Science Research / vol.36 No.2/ 2026/pp 1-12 https://animalscience.tabrizu.ac.ir	
© 2009 Copyright by Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/) DOI: 10.22034/AS.2021.47224.1623		

Introduction: Today, low-crude-protein (LP) diets are of interest to poultry nutritionists and the poultry feed industry as well. One important concern using LP diets is occurring poor performance in broilers which has been reported by some authors. Dean et al. (2006) studied different dietary manipulation tools for improving performance in LP diets and found that glycine (Gly) has a basic role; as the supplementing 2.44 % Gly+Ser in the LP diet led to the equal performance with the diet containing standard CP level. Threonine can be used as a precursor of glycine. Therefore, Gly supplementation increases the amount of Thr available for the physiological processes. On the other hand, Thr at the levels more than required level could serve as a source of Gly+Ser in LP diets (Ospina-Rojas et al. 2013b). Based on this information, the objective of the present study was to evaluate Gly requirements in LP diets with different levels of digestible (dig) Thr, and their effects on supplementation in comparison with recommended levels of crude protein (RCP) diet on performance and carcass traits in broiler chickens from 8 to 28d of age.

Materials and methods: A four hundred and sixty-two male Ross-308 broilers distributed in a completely randomized design in a (3× 2) +1 factorial arrangement (3 levels of dig Gly+Ser, 2 levels of dig Thr in LP diets and 1 recommended CP (RCP) diet) with 6 replicates with 11 birds per replicate. Factorial arrangements of the LP diets (18.3% CP) were 3 levels of digestible Gly+Ser (1.41, 1.51, and 1.61%) and two levels digestible Thr (0.76, 0.86%, corresponding to 100 and 110 % of Thr requirements, respectively). A RCP diet was formulated to be adequate in essential AA except for Gly, as recommended by Rostagno et al. (2011). L- Glu acid was used as nonspecific nitrogen for the need to the synthesis of Non-essential amino acids. Other six experimental diets with different levels of Gly and Thr were obtained by supplementing the basal diet with Gly and Thr as replacement of L-Glu acid. Body weight and feed intake were recorded at the beginning and the end of the experimental period 8 to 28 d of age. Mortality was recorded daily and corrected to its effect on feed intake. Data were analyzed using a completely randomized design as a factorial arrangement with R software (3.6.2) software (Team. 2020). Also, the fixed effects were expressed as Least Square Means (LSMEANS±SE), and to compare the mean of treatments, the Tukey-Kramer test was used.

Results and discussion: In the present study, dig Gly supplementation at levels higher than 1.41% in the LP diets showed a significant improvement ($P<0.01$) in the body weight gain index of broilers. This is in agreement with the study of Namroud et al. (2008) who reported that in LP diets below 19% CP supplemented with large amounts of essential amino acids, the concentration of ammonia in blood increases and leads to negative effects on tissue metabolism and reduced appetite and growth of poultry, so the addition of Gly and Glu increases the production of uric acid from ammonia and improves performance. In this study, the main effect of supplementation of different levels of dig Thr in LP diets did not significantly effect on performance of broilers ($P>0.05$). The interaction effects between levels of dig Gly and Thr were significant ($P<0.05$) on BWG and were the highest in the diets with a high levels of dig Gly (1.51, 1.61 %) and Thr (0.86 %) in comparison to the diets containing 1.41 and 0.76 % dig Gly and Thr (i.e., BWG 1146 vs. 919g, respectively). These results are in agreement with the reports of Ospina-Rojas et al. (2013b) and Hillar et al. (2019), they suggested that in LP diets supplemented with Gly+Ser and Thr, the catabolic enzymes (Thr aldolase and Thr dehydrogenase) convert the excess Thr to Gly, so the energy used in the synthesis of Gly endogenous (9ATP/mol) is used to improve performance. In our study, there were not found significant ($P>0.05$) differences in BWG, FI and FCR between RCP diet and LP diets. The results show that the growth performance of the birds fed LP diets was similar with the birds fed the RCP diet, this finding may be due that the LP diets only contained 2 % CP lower but the content of digestible essential amino acids similar in comparison with RCP diet. These results are consistent with the report of Van Harn et al. (2018). In our study, the main effect of Gly supplementation in high levels (1.51, 1.61 %) significantly ($P<0.001$) increased in the percentage of breast meat, these results are consistent with studies Kriseldi et al. (2017) that showed Gly amino acid has an important role in the synthesis of creatine. Energy metabolism in muscle tissue is affected by creatine. The interaction effect between levels of dig Gly (1.51, 1.61 %) and Thr (0.86 %) in comparison to the diet containing 1.41 and 0.76 % dig Gly and Thr were significant increased ($P<0.05$) on breast and thigh meat percent. By increasing the dig Gly concentration in LP diets, the amount of Thr available for protein synthesis such as breast tissue increases.

Conclusions: It can be concluded that dig Gly supplementation in LP diets significantly improves BWG of broiler chickens. Also it seems interactions between dig Gly and Thr supplementation in diets allow reduction of dietary CP from 20.39% to 18.32% for broilers from 8 to 28 days of age, while maintaining growth performance similar to the RCP diet. However, to support maximum growth, it is recommended that the requirement for dig Thr in the LP diets be higher than 0.86%.

Keywords: Broiler, Glycine, Protein, Performance, Threonine

اثرات متقابل گلايسين و تره‌ئونين مکمل سازی شده در جیره غذایی کم پروتئین بر عملکرد رشد و خصوصیات لاشه جوجه‌های گوشتی نر

زهرا حسين زاده^۱، حسين جانمحمدي^{۲*}، اکبرتقی زاده^۳، علی حسينخانی^۴ و مجيد علياي^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۸/۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۲

^۱دانشجوی دکتری تغذیه طیور گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

^۲استاد گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

^۳دانشیار گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبه: janmohammadi@tabrizu.ac.ir

چکیده

زمینه مطالعاتی: استفاده از جیره غذایی کم پروتئین مکمل سازی شده با گلايسين و تره‌ئونين قابل هضم موجب بهبود عملکرد و خصوصیات لاشه جوجه‌های گوشتی می‌شود. هدف: این آزمایش به منظور بررسی اثرات متقابل گلايسين و تره‌ئونين مکمل سازی شده در جیره غذایی کم پروتئین بر عملکرد و خصوصیات لاشه جوجه‌های گوشتی انجام گرفت. روش کار: در این آزمایش ۴۶۲ قطعه جوجه نر یک روزه گوشتی از سویه راس ۳۰۸ از طریق طرح کاملاً تصادفی ۳×۲+۱ در قالب روش فاکتوریل (شامل ۳ سطح گلايسين+سرين و ۲ سطح تره‌ئونين در جیره غذایی کم پروتئین بعلاوه ۱ جیره غذایی با پروتئین توصیه شده) با ۶ تکرار و هر تکرار شامل ۱۱ قطعه جوجه توزیع شدند. جیره‌های آزمایشی بر پایه ذرت-سویا با محتوای پروتئین کم (۱۸/۳۲ درصد) با ۳ سطح گلايسين+سرين (۱/۶۱، ۱/۵۱، ۱/۴۱ درصد) و ۲ سطح تره‌ئونين قابل هضم (۰/۸۶، ۰/۷۶ درصد) بودند. جیره شاهد با سطح پروتئین توصیه شده (۲۰/۳۹ درصد) با مقادیر کافی از اسیدهای آمینه ضروری تغذیه شدند. جوجه‌های گوشتی، جیره‌های آزمایشی را از سن ۸ تا ۲۸ روزگی دریافت نمودند. نتایج: صفات افزایش وزن بدن، مصرف خوراک و ضریب تبدیل غذایی جوجه‌ها تفاوت معنی‌داری ($P>0.05$) را بین جیره غذایی با پروتئین توصیه شده و جیره غذایی کم پروتئین نشان ندادند. اثرات اصلی مکمل سازی گلايسين بر افزایش وزن بدن معنی‌دار بود و جیره‌های غذایی کم پروتئین مکمل سازی شده در سطح ۱/۶۱ درصد گلايسين و ۰/۸۶ درصد تره‌ئونين قابل هضم منجر به بهبود معنی‌داری ($P<0.05$) در افزایش وزن بدن، درصد وزن عضله سینه و ران جوجه‌های گوشتی گردید. نتیجه‌گیری نهایی: نتایج حاصل از این مطالعه پیشنهاد می‌کند اثرات متقابل مکمل سازی گلايسين و تره‌ئونين قابل هضم در جیره غذایی کم پروتئین اثرات مفیدی بر بهبود عملکرد و خصوصیات لاشه جوجه‌های گوشتی دارد.

واژگان کلیدی: جوجه گوشتی، پروتئین، گلايسين، تره‌ئونين، عملکرد

مقدمه

توسط ون هارن و همکاران (۲۰۱۹) مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. این موارد عبارتند از: ۱- کاهش هزینه‌های خوراک و افزایش سودآوری صنعت طیور، ۲- بهبود در وضعیت رفاهی پرندگان با کاهش تاول‌های سینه و سوختگی‌ها در ناحیه مفصل زانو، ۳-

بیش از دو دهه است که کاهش محتوای پروتئین خام در جیره غذایی طیور توسط متخصصان تغذیه طیور بررسی می‌گردد، برخی از جنبه‌های مثبت استفاده از جیره‌های غذایی کم پروتئین در صنعت پرورش طیور

بهبود تحمل حرارتی طیور در محدوده حرارتی بالا و ۴- کاهش دفع نیتروژن و انتشار آمونیاک به محیط پرورش جوجه‌های گوشتی، از طریق افزایش کارایی استفاده از پروتئین جیره غذایی. اخیراً جنبه دیگر استفاده از جیره‌های غذایی کم پروتئین توسط دی-سزاره و همکاران (۲۰۱۹) مورد مطالعه قرار گرفته است. آنها دریافتند که کاهش میزان پروتئین خام تا ۷ درصد در جیره غذایی جوجه‌های گوشتی طی سه مرحله رشد، میکروبیوم سکوم را تحت تأثیر قرار می‌دهد و با گذشت زمان باعث افزایش تعداد لاکتوباسیلوس‌ها می‌گردد که احتمالاً این اثر با عملکرد بهتر جوجه‌های گوشتی، در اثر جیره‌های غذایی کم پروتئین مرتبط باشد. بهبود تعادل اسیدهای آمینه در جیره‌های غذایی کم پروتئین بیشتر با استفاده از اسیدهای آمینه ضروری مصنوعی انجام می‌شود، اما یک نگرانی مهم در مورد استفاده از جیره‌های غذایی کم پروتئین، کاهش عملکرد در جوجه‌های گوشتی است که توسط برخی از نویسندگان گزارش شده است (آفتاب ۲۰۰۶ و ولدکمپ و همکاران ۲۰۱۷). دین و همکاران (۲۰۰۶) با مطالعه سطوح مختلف پروتئین در جیره‌های غذایی، دریافتند که گلايسين+سرين عامل محدود کننده در جیره غذایی کم پروتئین است، زیرا در چنین جیره‌هایی گلايسين+سرين بشدت کاهش می‌یابد ولی افزودن ۲/۴۴ درصد گلايسين+سرين به همراه اسیدهای آمینه ضروری مصنوعی برای رسیدن به حداکثر رشد در جیره‌های غذایی با پروتئین پایین ضروری بوده و توانست عملکردی مشابه با جیره حاوی پروتئین استاندارد را نشان دهد. محققان دیگر نیز دریافتند افزودن گلايسين+سرين در جیره غذایی کم پروتئین باعث بهبود عملکرد در سطحی برابر با جیره غذایی با پروتئین استاندارد می‌گردد (کورزو و همکاران ۲۰۰۴ و اسپینا-روچس و همکاران ۲۰۱۳a). تحقیقات انجام گرفته نشان داده است در جیره‌های غذایی کم پروتئین نسبت بهینه گلايسين+سرين قابل هضم (بصورت نسبی از لیزین) به ۱۴۰ درصد نمی‌رسد، زیرا سطوح بالاتر از این مقادیر منجر به فرمولاسیون یک جیره غذایی با تعداد بالای اسیدهای آمینه سنتتیک می‌شود که

قابلیت بررسی جیره غذایی را بصورت کاربردی کاهش می‌دهد (اسپینا-روچس و همکاران ۲۰۱۲ و کورزو ۲۰۱۲). هلیار و همکاران (۲۰۱۹) دریافتند استفاده از سه نوع جیره غذایی کم پروتئین مکمل سازی شده با سطوح مختلف اسید آمینه گلايسين اکي والانت^۱، سرین و اسید آمینه ترئونین، نتوانست عملکرد جوجه‌های گوشتی را در سطحی برابر با جیره غذایی با پروتئین استاندارد پشتیبانی کند. احتمالاً اختلاف در نتایج مطالعات مذکور به تفاوت در سطح پروتئین جیره غذایی، موادمغذی جیره غذایی کم پروتئین و سنتز اندوژنوسی گلايسين مرتبط باشد. مسیرهای متابولیکی برای بیوسنتز گلايسين شامل سرین (به توسط سرین هیدروکسی متیل ترانسفراز)، ترئونین، کولین (با تشکیل سارکوزین)، آلانین، گلی اگزالات و تری متیل لیزین می‌باشد. گلی اگزالات (سیگرت و همکاران ۲۰۱۵) و تری متیل لیزین نقش قابل توجهی در تولید گلايسين ندارند (ملندز-هوای و همکاران ۲۰۰۹)، اما دو ماده پیش ساز اصلی مرتبط با سنتز گلايسين، ترئونین و کولین هستند. ترئونین سومین اسید آمینه ضروری محدود کننده در جیره غذایی طیور است و بر نیازمندی گلايسين بویژه در جیره غذایی کم پروتئین تأثیر می‌گذارد. با افزایش سطح گلايسين فعالیت آنزیم‌های ترئونین آلدولاز (ای سی ۵.۲.۱.۴) و ترئونین دهیدروژناز (ای سی ۱.۰.۳.۱.۱) در کبد پرندگان، کاهش یافته و از میزان تجزیه ترئونین به گلايسين کاسته می‌شود (لی و همکاران ۲۰۱۴). بنابراین، افزودن گلايسين به جیره غذایی میزان ترئونین قابل دسترس را برای شرکت در فرایندهای بیولوژیکی، نگهداری و رشد افزایش می‌دهد. از طرف دیگر، ترئونین در سطوح بیشتر از نیازمندی می‌تواند به عنوان منبع گلايسين در جیره‌های غذایی کم پروتئین (اسپینا-روچس و همکاران ۲۰۱۳b) مورد استفاده قرارگیرد. از میان اسیدهای آمینه ضروری، ترئونین نقش مهمی در حفظ یکپارچگی دیواره اپیتلیوم

¹Gly_{equi} (g/kgDM) = Gly (g/kgDM) + {0.7143*Ser (g/kgDM)}

جای اسید ال-گلوتامیک به عنوان منبع نیتروژن غیر ضروری تهیه شدند. جیره شاهد نیز با سطح پروتئین توصیه شده (۲۰/۳۹ درصد) با مقادیر کافی از اسیدهای آمینه ضروری مصنوعی (تره‌ئونین، لیزین و متیونین) و سایر مواد مغذی توصیه شده مطابق با جداول احتیاجات غذایی برزیلی روستاگنو و همکاران (۲۰۱۱) براساس اسید آمینه قابل هضم برای دوره ۲۸-۸ روزگی فرموله شد (جدول ۱). اسیدهای آمینه کریستاله مورد نیاز در این آزمایش توسط مرکز تحقیقات شرکت آجینوموتو واقع در کشور فرانسه تأمین گردید، که شامل اسیدهای آمینه گلايسين، ال-گلوتامیک، ال-ایزولوسين، ال-آرژنين، ال-والين و ال-تریپتوفان بودند. در روز شروع آزمایش (۸ امین روز پرورش) پس از ۸ ساعت گرسنگی جوجه‌ها به صورت انفرادی وزن کشی شده و در ۴۲ پن (با ابعاد ۱/۴×۱/۴cm) توزیع شدند. هر پن شامل یک دانخوری استوانه‌ای شکل و یک آبخوری اتوماتیک آویزان بود و در تمام طول دوره (۸ تا ۲۸ روزگی) دسترسی جوجه‌ها به جیره‌های آزمایشی و آب بصورت آزادانه بود. در روزهای وزن کشی، ۸-۱۰ ساعت قبل وزن کشی با دسترسی آزاد به آب، به جوجه‌ها گرسنگی اعمال گردید. با توجه به مشخص بودن اوزان جوجه‌های هر کدام از پن‌ها و اندازه‌گیری مقدار خوراک مصرفی در دوره آزمایش، داده‌های افزایش وزن و مقدار خوراک مصرفی، ضریب تبدیل غذایی به روش روز مرغ محاسبه شد. برای ارزیابی خصوصیات لاشه در سن ۳۵ روزگی دو پرنده از هر تکرار بطور تصادفی انتخاب و به منظور تفکیک لاشه، کشتار شد. پس از کشتار سر، بال‌ها، پاها، امعاء و احشاء، و چربی محوطه بطنی جدا شده و توزین شد. سنگدان، قلب، سینه و ران‌ها بصورت جداگانه وزن شده و بصورت درصدی از وزن لاشه و وزن لاشه نیز بصورت درصدی از وزن زنده بدن محاسبه گردید.

پس از جمع‌آوری اطلاعات و مشخص شدن داده‌های پرت، تجزیه واریانس انجام و سپس جهت بررسی صحت فرضیات با استفاده از نرم‌افزار R (تیم ۲۰۲۰) آزمون نرمالیت باقیمانده‌ها و همگنی واریانس به ترتیب

روده دارد و یکی از مهم‌ترین اجزای تشکیل دهنده موسین می‌باشد. موسین گلیکوپروتئین اصلی تشکیل دهنده دیواره روده بوده و نقش مهمی در حفظ بافت روده از فعالیت عوامل بیماری‌زا و آنزیم‌های گوارشی دارد. موسین بیشترین نقش را در حفظ فعالیت لایه غشایی دیواره روده ایفا می‌کند و همین امر هضم و جذب مواد مغذی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (هورن و همکاران ۲۰۰۹).

لذا این تحقیق با هدف مطالعه پاسخ جوجه‌های گوشتی نر سویه راس ۳۰۸ به اثرات متقابل اسیدهای آمینه گلايسين و تره‌ئونین قابل هضم در جیره غذایی کم پروتئین در مقایسه با جیره غذایی با پروتئین توصیه شده بر عملکرد رشد و خصوصیات لاشه جوجه‌های گوشتی از سن ۸ تا ۲۸ روزگی انجام گرفت.

مواد روش‌ها

تعداد ۴۶۲ قطعه جوجه نر یک روزه گوشتی سویه راس ۳۰۸ از جوجه‌کشی ققنوس، واقع در شهرستان ابهر، پس از تفکیک جنسیتی از روی رشد پرهای بال خریداری شده و بعد از انجام واکسیناسیون (برونشیت و نیوکاسل) به سالن مرغداری طیور انتقال یافت. تمامی جوجه‌ها تا سن ۸ روزگی به صورت یک‌جا نگهداری و از جیره پیش آغازین پیشنهادی روستاگنو و همکاران (۲۰۱۱) تغذیه شدند. تیمارهای تحت مطالعه در قالب طرح کاملاً تصادفی به روش فاکتوریل (شامل ۳ سطح گلايسين+سرین و ۲ سطح تره‌ئونین قابل هضم در جیره غذایی کم پروتئین بعلاوه ۱ جیره غذایی با پروتئین توصیه شده) ۱+ (۳×۲) با ۶ تکرار و هر تکرار شامل ۱۱ قطعه جوجه توزیع شدند. جیره‌های آزمایشی بر پایه ذرت-سویا با محتوای پروتئین کم (۱۸/۳۲ درصد) با ۳ سطح گلايسين+سرین قابل هضم (۱/۴۱، ۱/۵۱، ۱/۶۱ درصد) و ۲ سطح تره‌ئونین قابل هضم (۰/۸۶، ۰/۷۶ درصد) به ترتیب مطابق با ۱۰۰ و ۱۱۰٪ نیازمندی توصیه شده تره‌ئونین، توسط روستاگنو و همکاران (۲۰۱۱) تنظیم شد. در تنظیم جیره‌های آزمایشی، تیمارهای تحت مطالعه با جایگزینی مقادیر مختلف اسیدهای آمینه تره‌ئونین و گلايسين به

با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلکاکسون و آزمون بارتلت صورت گرفت. در این آنالیز داده‌های جمع آوری شده به استثنای گروه شاهد در قالب روش فاکتوریل 3×2 (سطوح گلايسين $\times$ تره‌ئونين) تجزیه آماری گردید و مقایسات میانگین برای اثرات سطوح اصلی و اثرات

متقابل آنها با استفاده از آزمون توکی-کرامر در سطح احتمال اشتباه ۵ درصد انجام شد. همچنین داده‌های حاصل گروه‌های آزمایشی به همراه گروه شاهد نیز در قالب طرح کاملاً تصادفی آنالیز گردیده و مقایسات مستقل برای آنها انجام گردید.

Table1. Ingredients and nutrients composition of low (basal) and recommended levels of crude protein diets (RCP) from 8 to 28 days of age

Ingredients (%)	Basal diet	RCP diet
Corn grain	67.19	53.19
Soybean meal (45% CP)	26.00	35.7
Soybean oil	1.0	1
Dicalcium Phosphate	1.56	1.3
Corn starch	-	4.9
Sodium bicarbonate	0.34	0.33
Salt	0.24	0.24
Salinomycin	0.05	0.05
Calcium carbonate	0.96	1.3
¹ Mineral+Vitamin premix	0.5	0.5
^{2,3} L-Glutamic acid 98%	0.5	-
L-Lysine HCl 74.42%	0.52	0.21
L-Glycine 98%	0.0	-
L-Arginine 98%	0.23	-
L-Threonine 96%	0.20	0.08
L-Valine 98%	0.19	-
L-Isoleucine 98%	0.14	-
DL-Methionine 99%	0.36	0.28
L-Tryptophan 99%	0.02	-
Calculated nutrient composition%		
AMEn, kcal/kg	3038	3030
CP	18.32	20.39
Ca	0.81	0.91
Avail. Phosphorus	0.39	0.35
Sodium	0.20	0.20
Potassium	0.67	0.81
Chlorine	0.19	0.19
DCAD mEq/kg	222	222
Dig Lys	1.17	1.17
Dig Met	0.59	0.55
Dig Met+Cys	0.84	0.84
Dig Phe	0.77	0.94
Dig Phe+Tyr	1.32	1.61
Dig Thr	0.76	0.76
Dig Trp	0.20	0.23
Dig Val	0.90	0.92
Dig Arg	1.27	1.30
Dig Gly+Ser	1.41	1.72
Dig His	0.43	0.509
Dig Ile	0.78	0.80
Dig Leu	1.38	1.58

¹The vitamin and mineral premix provided per kilogram of diet: vitamin A (retinal acetate), 42,300 IU; riboflavin, 6.6 mg; biotin, 4 mg; vitamin D3 (cholecalciferol), 12,600 IU; niacin, 8 mg; vitamin E (DL- α -tocopheryl acetate), 28 IU; vitamin K3 (menadione), 3 mg; d-pantothenic acid, 24 mg; pyridoxine, 2.5 mg; choline chloride, 700 mg; I (calcium iodate), 0.85 mg; F (ferric sulfate), 25 mg; Cu (copper sulfate), 8 mg; Mn (manganese oxide), 89 mg; Zn (zinc oxide), 158 mg; Se (selenium premix), 8 mg.

² Except L-Lys HCl, DL- met and L- Thr, Other AAs used at the present study were supplied from AJINOMOTO ANIMAL NUTRITION EUROPE, Paris, France.

³Experimental diets with different levels of dig Gly+Ser and Thr were obtained by supplementing the basal diet with Gly and Thr as replacement of L-Glu acid 0.98%.

نتايج و بحث

ميانگين مقادير صفات عملکرد رشد جوجه‌هاى گوشتى تغذيه شده با جيره غذايى با پروتئين توصيه شده و جيره غذايى كم پروتئين در جدول ۲ ارائه شده است. مكممل سازى گلايسين در سطوح بالاتر از ۱/۴۱ درصد در جيره‌هاى غذايى كم پروتئين بهبود معنى‌دارى ($P < 0.01$) را در شاخص افزايش وزن بدن جوجه‌هاى گوشتى نشان داد. اين نتايج با مطالعات نم‌رود و همكاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد، كه گزارش كردند در جيره‌هاى غذايى با سطوح كمتر از ۱۹ درصد پروتئين خام، با افزايش مقادير اسيدهاى آمينه ضرورى جيره غذايى، غلظت آمونياك خون افزايش يافته و اثرات منفى بر متابوليسم، اشتها و رشد طيور را بدنبال دارد، ولى مكممل سازى اسيدهاى آمينه غيرضرورى مانند گلايسين و اسيد گلوتاميك از طريق افزايش توليد اسيد اوريك از آمونياك، عملکرد طيور را بهبود مى‌بخشد. همچنين گزارشاتى وجود دارد كه نشان مى‌دهد مكممل سازى گلايسين+سرئين در جيره‌هاى غذايى كم پروتئين در مقايسه با ساير منابع نيتروژن از سن ۰ تا ۴۱ روزگى نقش مثبت قابل توجهى در افزايش وزن بدن و بهبود ضريب تبديل غذايى جوجه‌هاى گوشتى دارد (كريسلدى و همكاران ۲۰۱۷). در اين تحقيق ميانگين مقادير مصرف خوراك تفاوت معنى‌دارى را مابين جيره‌هاى غذايى نشان نداد ($P > 0.05$) ولى با افزايش سطوح گلايسين در جيره غذايى كم پروتئين، مقادير مصرف خوراك به صورت عددى افزايش يافت. اثرات بيولوژيكي اسيدهاى آمينه بر مصرف و جذب مواد مغذى تاثير گذار است زيرا اسيدهاى آمينه به عنوان سوخت هاى متابوليكي با تاثير روى مراكز سبرى و گرسنگى هيپوتالاموس بر مصرف خوراك جوجه‌هاى

گوشتى مؤثر مى‌باشند (ونگ و همكاران ۲۰۱۲). اسيد آمينه گلايسين كارايى استفاده از اسيدهاى آمينه ضرورى مانند ترئونين، متيونين و آرژنين را افزايش مى‌دهد و در بسيارى از فعاليت‌هاى متابوليكي مانند سنتز پروتئين، توليد اسيد اوريك، توليد صفرا و سنتز موسين در ديواره روده جوجه‌هاى گوشتى نقش دارد (اكيند ۲۰۱۴). برخى مطالعات گزارش كردند كه مكممل سازى گلايسين در جيره غذايى كم پروتئين تاثير معنى‌دارى در عملکرد جوجه‌هاى گوشتى ندارد (والدروپ و همكاران ۲۰۰۵ و استار و همكاران ۲۰۲۱)، علت اين مغايرت مى‌تواند اين فرضيه باشد كه پروفایل اسيدهاى آمينه جيره غذايى كم پروتئين تهيه شده به نيازمنى اسيد آمينه‌اى بدن جوجه‌هاى گوشتى نزديك بوده، بنابراين نيازمنى به مكممل سازى گلايسين كاهش مى‌يابد و يا اينكه كاهش محتوای پروتئين جيره‌هاى آزمائشى در حدى نبوده كه با مكممل سازى گلايسين پاسخ معنى‌دارى را در عملکرد جوجه‌هاى گوشتى ايجاد كند.

در اين مطالعه مكممل سازى ترئونين قابل هضم اثر معنى‌دارى بر عملکرد رشد جوجه‌هاى گوشتى ($P > 0.05$) از سن ۸ تا ۲۸ روزگى نداشت. اين نتايج با نتايج گزارش شده توسط استار و همكاران (۲۰۲۱) مغايرت دارد، اين محققين گزارش كردند كه جيره‌هاى غذايى كم پروتئين (با ۱۸/۵ درصد پروتئين خام) مكممل سازى شده در سطح ۶۴ درصد ترئونين قابل هضم، ضريب تبديل جيره غذايى را در جوجه‌هاى گوشتى از سن ۷ تا ۲۸ روزگى به طور معنى‌دارى كاهش مى‌دهد. اما مطالعات اخير محققين نشان مى‌دهد تحت شرايط معمول، نيازمنى به اسيد آمينه ترئونين در جوجه‌هاى گوشتى امروزي بالاتر بوده و پيشنهاده

می‌کنند برای رسیدن به عملکرد بهینه رشد بویژه در دوره آغازین میزان نیازمندی به اسید آمینه ترئونین قابل هضم ۰/۸۰ تا ۰/۹۰ درصد باشد، که این مطلب اثبات کننده اهمیت نقش این اسید آمینه در بهبود شاخص سلامت روده، تقویت سیستم ایمنی و عملکرد رشد طیور می‌باشد (اسپینا-روچس و همکاران ۲۰۱۳b و احمد و همکاران ۲۰۲۰ و قیصرانی و همکاران ۲۰۱۸). در این تحقیق، اثرات متقابل بین سطوح مکمل سازی ۱/۶۱ و ۱/۵۱ درصد گلیسین و ۰/۸۶ درصد ترئونین قابل هضم در جیره‌های غذایی کم پروتئین بیشترین افزایش وزن بدن ($P < 0.05$) را در مقایسه با سطح ۱/۴۱ درصد گلیسین و ۰/۷۶ درصد ترئونین قابل هضم نشان دادند (متوسط افزایش وزن ۱۱۴۶ در مقابل ۹۱۹ گرم). این نتایج با گزارش‌های اوسپینا-روچس و همکاران (۲۰۱۳b) و استار و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد که گزارش کردند اثرات متقابل بین سطوح مکمل سازی گلیسین و ترئونین قابل هضم در جیره غذایی کم پروتئین، شاخص افزایش وزن و ضریب تبدیل غذایی را بطورمعنی‌داری بهبود می‌بخشد. با مکمل سازی گلیسین، انرژی مورد استفاده در سنتز آندوژنوسی هر مول گلیسین معادل (9ATP / mol) است که برای بهبود عملکرد رشد استفاده می‌شود (اسپینا-روچس و همکاران ۲۰۱۲)، همچنین در چنین

شرایطی با مهار فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده ترئونین (ترئونین آلدولاز و ترئونین دهیدروژناز)، میزان بیشتری از اسید آمینه ترئونین برای ترشح موسین و آنزیم‌های هضمی روده مورد استفاده قرار می‌گیرد (اوسپینا-روچس و همکاران ۲۰۱۳b). در این تحقیق تفاوت معنی‌داری در افزایش وزن، مصرف خوراک، ضریب تبدیل غذایی مابین جیره غذایی با پروتئین توصیه شده و جیره‌های غذایی کم پروتئین مکمل سازی شده با سطوح مختلف گلیسین و ترئونین قابل هضم وجود نداشت ($P > 0.05$)، این نتایج با گزارش استار و همکاران (۲۰۲۱) و ون هارن و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد. این یافته‌ها ممکن است به این دلیل باشد که در مطالعه حاضر، جیره‌های غذایی کم پروتئین فقط حاوی ۲ درصد پروتئین خام پایین‌تر بوده ولی از لحاظ محتوای اسیدهای آمینه ضروری قابل هضم شبیه به جیره‌های غذایی استاندارد هستند. در جیره‌های غذایی کم پروتئین، به دلیل کاهش سطح پروتئین خام، برخی از اسیدهای آمینه که قبلاً به اندازه کافی تأمین شده بودند اکنون به عنوان اسیدهای آمینه محدود کننده در نظر گرفته می‌شوند، بنابراین نسبت متعادل از اسیدهای آمینه ضروری و غیر ضروری در جیره‌های غذایی کم پروتئین مانع کاهش عملکرد طیور می‌گردد (هافمن و همکاران ۲۰۲۰).

Table2. Growth performance of broilers fed with the LP diets and RCP diet from 8 to 28 days of age (ME±SE).

Treatment	BWG (g/b)	FI (g/b)	FCR
Dig Gly %			
1.41	936±25.6 ^b	1554±39.4	1.67±0.03
1.51	1038±27.0 ^a	1646±41.3	1.59±0.04
1.61	1073±31.6 ^a	1675±48.2	1.58±0.04
F Test	6.57**	2.23 ^{ns}	0.89 ^{ns}
Dig Thr%			
0.76	996±21.7	1587±33.2	1.61±0.03
0.86	1036±24.3	1663±37.1	1.62±0.03
F Test	1.48 ^{ns}	2.31 ^{ns}	0.26 ^{ns}
Dig Gly %×Dig Thr %			
1.41 0.76	919±36.5 ^b	1473±55.7	1.65±0.05
1.51 0.76	1068±40.0 ^{ab}	1651±61.3	1.54±0.06
1.61 0.76	1000±36.5 ^{ab}	1637±55.7	1.64±0.05
1.41 0.86	953±36.5 ^b	1635±55.7	1.71±0.05
1.51 0.86	1008±36.5 ^{ab}	1641±55.7	1.63±0.05
1.61 0.86	1146±51.6 ^a	1712±78.1	1.53±0.07
F Test	3.05*	1.13 ^{ns}	1.63 ^{ns}

RCP diet vs Factorial			
RCP diet	1033±43.8	1620±64.3	1.56±0.05
Factorial	1002±18.9	1616±27.8	1.61±0.02
F Test	0.43 ^{ns}	1.85 ^{ns}	6.14 ^{ns}
CV (%)	10.6	9.8	8.6

^{a,b} Means within each column with different superscripts differ significantly at ($P < 0.05$) by Tukey-Kramer test. F Test: ns, non-significant; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

.BWG= Body weight gain (g/bird), FCR= feed conversion ratio. Recommend CP diet (20.4% CP), Low protein diet (18.2%).

قابل هضم در جیره غذايي کم پروتئين اثر معنی‌داری در خصوصيات لاشه جوجه‌های گوشتي نداشت ($P < 0.05$). این یافته‌ها با مطالعات جهانيان و همکاران (۲۰۱۰) مغایرت دارد، که گزارش کردند با افزایش سطح مکمل سازي ترئونين قابل هضم در جیره‌های غذايي، توسعه عضلات ران و سينه در جوجه‌های گوشتي بهبود می‌یابد، زیرا نیازمندی ترئونين جوجه‌های گوشتي برای بهبود خصوصيات لاشه بالاتر از نیاز آن برای افزایش وزن است. عواملی مانند مقدار پروتئين در جیره غذايي، نژاد، سن و جنس پرندگان بر میزان نیازمندی ترئونين تأثیر می‌گذارد، که می‌تواند این مغایرت را توجیه نماید. اسید آمینه ترئونين، سومین اسید آمینه محدود کننده رشد طیور است و نقش مهمی در سنتز پروتئين موسين (هورن و همکاران ۲۰۰۹) و افزایش ترشح آنزیم‌های گوارشي (تریپسين، آمیلاز و لیپاز) (لی و همکاران ۲۰۱۶) دارد. در مطالعه حاضر، اثرات متقابل بین جیره‌های غذايي کم پروتئين با سطوح ۱/۵۱ و ۱/۶۱ درصد گلايسين و ۰/۸۶ درصد ترئونين قابل هضم در مقایسه با سطح ۱/۴۱ گلايسين و ۰/۷۶ درصد ترئونين قابل هضم افزایش معنی‌داری بر درصد گوشت سينه و ران جوجه‌های گوشتي نشان داد ($P < 0.05$). این یافته‌ها با مطالعات انجام شده توسط اوسپینا-روجس و همکاران (۲۰۱۳a) مطابقت دارد. آنها گزارش کردند با افزایش غلظت گلايسين+سرين در جیره‌های غذايي کم پروتئين، مقدار ترئونين در دسترس برای سنتز پروتئين بافت سينه افزایش می‌یابد. در این مطالعه اثرات اصلی و اثرات متقابل اسیدهای آمینه مکمل سازي شده در جیره‌های غذايي کم پروتئين اثر معنی‌داری ($P > 0.05$) بر درصد چربی حفره بطني و درصد وزن لاشه جوجه‌های گوشتي نداشت. یکی از اثرات نامطلوب

میانگین مقادير اثرات مکمل سازي جیره‌های غذايي کم پروتئين با استفاده از سطوح مختلف اسیدهای آمینه گلايسين و ترئونين قابل هضم بر صفات مرتبط با لاشه جوجه‌های گوشتي در مقایسه با جیره غذايي با پروتئين توصیه شده در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد، در جیره‌های غذايي کم پروتئين اثرات اصلی مکمل سازي گلايسين در سطوح ۱/۵۱ و ۱/۶۱ درصد در مقایسه با سطح ۱/۴۱ درصد بطور معنی‌داری ($P < 0.001$) درصد گوشت سينه را در جوجه‌های گوشتي افزایش می‌دهد. این نتایج با مطالعات اسپینا-روجس و همکاران (۲۰۱۳a) و کریسلدی و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد. این محققین گزارش کردند، افزایش وزن عضله سينه ممکن است مربوط به افزایش در محتوای کراتين^۲ این بافت عضلانی، در پاسخ به مکمل سازي گلايسين در جیره غذايي باشد. زیرا اسید آمینه گلايسين نقش مهمی در سنتز فسفو کراتين دارد. متابوليسم انرژی در بافت‌های عضلانی تحت تأثیر فسفو کراتين است و انرژی حاصل از آدنوزین تری فسفات اضافی در داخل سلول خیلی سریع در حضور کراتين می‌تواند به فسفوکراتين تبدیل شود که ترکیبی پرانرژی است و در زمان نیاز به انرژی تجزیه می‌شود (لیمه و همکاران ۲۰۰۷)، بنابراین افزایش محتوای کراتين در عضله سينه می‌تواند قابلیت مصرف مواد مغذی برای رشد عضله را بهبود بخشد. اسید آمینه گلايسين نقش مهمی در سنتز پورین‌ها (اجزای مهم سازنده واحدهای اسیدهای نوکلئیک)، سنتز فسفوکراتين و کلاژن، سنتز آنزیم گلوکوتایون پراکسیداز، پروتئين هموگلوبین و اسید آمینه سرین دارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اثرات اصلی مکمل سازي ترئونين

² Creatine

Table 3. Carcass traits of broilers fed with the LP diets and RCP diet at 35 days of age (ME±SE)

Treatment	¹ Carcass yield	Breast (%)	Thigh (%)	Abdominal fat (%)
DigGly %				
1.41	60.0±0.62	39.5±0.73 ^b	30.1±0.64	1.9±0.14
1.51	59.9±0.85	45.1±1.04 ^a	30.6±0.74	1.8±0.23
1.61	61.0±0.78	41.9±0.8 ^{ab}	31.4±0.56	2.0±0.17
F Test	0.43 ^{ns}	9.65 ^{***}	1.32 ^{ns}	0.65 ^{ns}
DigThr%				
0.76	60.8±0.60	41.7±0.69	30.8±0.52	1.9±0.15
0.86	59.7±0.63	42.6±0.77	30.6±0.56	1.9±0.17
F Test	1.31 ^{ns}	0.80 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.05 ^{ns}
DigGly %×DigThr%				
1.41 0.76	60.0±0.91	39.8±1.04 ^b	29.2±0.74 ^b	1.8±0.20
1.51 0.76	60.2±1.03	45.7±1.46 ^a	30.9±1.06 ^{ab}	1.7±0.28
1.61 0.76	61.4±0.98	39.7±1.04 ^b	30.4±1.05 ^{ab}	2.0±0.20
1.41 0.86	59.6±0.85	39.2±1.03 ^b	30.2±0.74 ^{ab}	2.0±0.21
1.51 0.86	59.7±1.20	44.5±1.46 ^{ab}	30.7±1.05 ^{ab}	1.8±0.28
1.61 0.86	60.7±1.20	44.3±1.46 ^{ab}	32.7±0.85 ^a	1.9±0.28
F Test	0.26 ^{ns}	3.11 [*]	3.25 [*]	0.97 ^{ns}
RCP diet vs Factorial				
RCP diet	60.1±1.13	45.2±1.18 ^a	31.7±1.14	1.73±0.27
Factorial	60.5±0.39	41.3±0.60 ^b	30.5±0.39	1.98±0.09
F Test	0.09 ^{ns}	4.20 [*]	0.89 ^{ns}	0.73 ^{ns}
CV (%)	3.74	8.69	7.48	8.2

^{a,b} Means within each column with different superscripts differ significantly at ($P < 0.05$) by Tukey-Kramer-test. F Test: ns, non-significant; * $-P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $-P < 0.001$.

¹ Carcass yield is expressed as a percentage of live weight, and breast, thigh, and abdominal fat are expressed as a percentage of carcass weight

استفاده از جیره‌های غذایی کم پروتئین افزایش چربی حفره بطنی و کاهش درصد سینه جوجه‌های گوشتی است، زیرا در چنین شرایط تغذیه‌ای، با تغییر تعادل انرژی و پروتئین دریافتی، مازاد انرژی موجود به جای سنتز پروتئین برای تجمع چربی در بدن استفاده می‌شود (نمرود و همکاران ۲۰۰۸)، اما در صورت استفاده از جیره‌های غذایی کم پروتئین مکمل سازی شده با نسبت متعادل از اسیدهای آمینه ضروری و غیرضروری میزان انرژی در دسترس برای تجمع چربی‌ها در حفره بطنی کاهش می‌یابد (بلور و همکاران ۲۰۱۷). در این تحقیق مابین جیره غذایی با پروتئین توصیه شده در مقایسه با جیره غذایی کم پروتئین اختلاف معنی‌داری در درصد ران، چربی حفره بطنی و درصد لاشه مشاهده نشد ($P > 0.05$) با این حال، درصد عضله سینه در جیره‌های با پروتئین توصیه شده بطور قابل توجهی افزایش نشان داد ($P < 0.05$). مکمل سازی جیره‌های غذایی با سطوح مناسبی از اسیدهای آمینه ضروری، مسیرهای آنابولیکی درگیر در سنتز پروتئین مانند ترشح هورمون‌ها، تکثیر و تولید سلولی را در بدن

تحریک و با افزایش سنتز پروتئین و رشد عضلات، خصوصیات لاشه را بهبود می‌دهد (باتری و همکاران ۱۹۹۴ و اسپینا-روچس و همکاران ۲۰۱۴).

نتیجه‌گیری

از این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت مکمل سازی گلیسین در جیره‌های غذایی کم پروتئین موجب بهبود معنی‌داری در شاخص افزایش وزن بدن جوجه‌های گوشتی شد، همچنین به نظر می‌رسد اثرات متقابل مکمل سازی گلیسین و ترئونین قابل هضم در جیره غذایی امکان کاهش پروتئین خام جیره غذایی را از سطح ۲۰/۳۹ درصد به ۱۸/۳۲ درصد فراهم می‌سازد، در حالی که عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی را در سطحی مشابه با جیره غذایی با پروتئین توصیه شده از سن ۸ تا ۲۸ روزگی حفظ می‌کند. برای پشتیبانی از حداکثر رشد توصیه می‌شود در جیره‌های غذایی کم پروتئین میزان نیازمندی به اسید آمینه ترئونین قابل هضم بالاتر از سطح ۰/۸۶ درصد باشد.

تشكر و قدآرنى

فرانسه به خاطر همكارى در تأمين و ارسال اسيدهاى آمينه مورد نياز در انجام اين پژوهش كمال تشكر و قدردانى را بنمايند.

نويسندگان مقاله بر خود لازم مى‌دانند تا از مركز تحقيقات شركت آجينوموتو (AJINOMOTO (ANIMAL NUTRITION EUROPE) واقع در كشور

منابع مورد استفاده

- Aftab U, Ashraf M and Jiang Z, 2006. Low protein diets for broilers. *World's Poultry Science Journal*. 62: 688-701.
- Ahmed I, Qaisrani SN, Azam F, Pasha TN, Bibi F, Naveed S and Murtaza S, 2020. 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. *Journal of Poultry Science* 99: 280-289.
- Akinde DO, 2014. Amino acid efficiency with dietary glycine supplementation: Part1. *World's Poultry Science Journal* 70: 461-474.
- Belloir P, Meda B, Lambert W, Corrent E, Juin H, Lessire M and Tesseraud S, 2017. Reducing the CP content in broiler feeds: impact on animal performance, meat quality and nitrogen utilization. *Journal of Animal Science* P: 1-9.
- Buttery PJ and D'Mello JPF, 1994. Amino acid metabolism in farm animals: an overview. Pages 1-9 in *Amino Acids in Farm Animal Nutrition*. D'Mello JPF, ed. CAB International, Guilford, UK.
- Corzo A, Kidd MT, Burnham DJ and Kerr BJ, 2004. Dietary glycine needs of broiler chicks. *Poultry Science* 83: 1382-1384.
- Corzo A, 2012. Determination of the arginine, tryptophan, and glycine ideal-protein ratios in high-yield broiler chicks. *Journal Applied Poultry Science Rescerech*. 21: 79-87.
- De Cesare A, Valle IF, Sala C, Sirri F, Astolfi A, Castellani G and Manfreda G, 2019. Effect of a low protein diet on chicken ceca microbiome and productive performances. *Poultry Science* 98: 3963-3976.
- Dean DW, Bidner TD and Southern LL, 2006. Glycine supplementation of low protein, amino acid-supplemented diets support equal performance of broiler chicks. *Poultry Science* 85: 288-296.
- Hillar M, Huyen N, Girish CK, Barekatain R, Wu S and Swick RA, 2019. Supplementing glycine, serine, and threonine in low protein diets for meat type chickens. *Poultry Science*. 98: 6857-6865.
- Hofmann P, Siegert W, Naranjo VD and Rodehutsord M, 2020. Effects of supplemented nonessential amino acids and non-protein nitrogen on growth and nitrogen excretion characteristics of broiler chickens fed diets with very low crude protein concentrations. *Poultry Science* 99: 6848-6858.
- Horn NL, Donkin SS, Applegate TJ and Adeola O, 2009. Intestinal mucine dynamics: Response of broiler chicks and White Pekin ducklings to dietary threonine. *Poultry Science* 88: 1906-1914.
- Jahanian R, 2010. Threonine needs of growing broiler chicks for performance and optimum immunological function in response to dietary crude protein concentration. 2 nd. *International Veterinary Poultry Congress*. Feb 20-21, Tehran, Iran. P: 200.
- Kriseldi R, Tillman PB, Jiang Z, Dozier WA, 2017. Effects of glycine and glutamine supplementation to reduced crude protein diets on growth performance and carcass characteristics of male broiler during a 41-day production period. *Journal of Applied Poultry Research* 26: 558-572.
- Lee CW, Cho IL, Lee YJ, Son YS, Kwak I, Ahn YT, Kim SC and An WG, 2014. Effects of dietary levels of glycine, threonine and protein on threonine efficiency and threonine dehydrogenase activity in hepatic mitochondria of chicks. *Asian-Australian Journal of Animal Science* 27: 69-76.
- Lemme A, Ringe J, Sterk AR and Young JF, 2007. Supplemental guanidino acetic acid affects energy metabolism of broilers. *Proceedings 16th European Symposium on Poultry Nutrition* 26-30. August, Strasbourg, France.

- Li JM, Zhang XY, Yuan C, Miao LP, Yan HX, Dong XY, Lu JJ and Zou XT, 2016. Effects of dietary L-Threonine levels on antioxidant capacity, digestive enzyme activities, and antibody production of Xinyang green-shell laying hens. *Journal of Applied Poultry Research* 25: 422-427.
- Melendez-Hevia E, Paz-Lugo PD, Cornish-Bowden A and Cardenas ML, 2009. A weak link in metabolism: the metabolic capacity for glycine biosynthesis does not satisfy the need for collagen synthesis. *Journal of Bio Science* 34: 853-872.
- Namroud NF, shivazad M and Zaghari M, 2008. Effects of fortifying Low crude protein diet with crystalline amino acids on performance, blood ammonia level, and excreta characteristics of broiler chicks. *Poultry Science* 87: 2250-2258.
- Ospina-Rojas IC, Murakami AE, Moreira I, Picoli KP, R. Rodrigueiro JB and Furlan AC, 2013a. Dietary glycine+serine responses of male broilers given low-protein diets with different concentrations of threonine. *Poultry Science* 54: 486-493.
- Ospina-Rojas IC, Murakami AE, Eyng C and Nunes RV, 2012. Commercially available amino acid supplementation of low-protein diets for broiler chickens with different ratios of digestible glycine+serin:Lysine. *Poultry Science* 91: 3148-3155.
- Ospina-Rojas IC, Murakami AE, Duarte CR, Eyng C, Oliveira CAL and Janeiro V, 2014. Valine, isoleucine, arginine and glycine supplementation of low-protein diets for broiler chickens during the starter and grower phases. *British Poultry Science* 55: 766-773.
- Ospina-Rojas IC, Murakami AE, Oliveira CAL and Guerra AF, 2013b. Supplemental glycine and threonine effects on performance, intestinal mucosa development, and nutrient utilization of growing broiler chickens. *Poultry Science* 92: 2724-2731.
- Qaisrani SN, Ahmed I, Azam F, Pasha T N and Bibi F, 2018. Threonine in broiler diets –an updated review. *Annals of Animal Scince* 18(3): 659-674
- Rostagno HS, Albino LFT, Donzele J L, Gomes PC., Oliveira R FM, Lopes DC, Ferreira AS and Barreto S L T , 2011. Brazilian Tables for Poultry and Swine-Feed Composition and Nutritional Requirements. 3rd edn. Universidad Federal de Viçosa, Department de Zootecnia, Viçosa, MG, Brazilian.
- Siebert W, Ahmadi H, Helmbrecht A and Rodehutsord M, 2015. A quantitative study of the interactive effects of glycine and serine with threonine and choline on growth performance in broilers. *Poultry Science* 94: 1557-1568.
- Star L, Tesseraud S, van Tol M, Minussi I, Corrent E and Lambert W, 2021. Production performance and plasma metabolite concentrations of broiler chickens fed low crude protein diets differing in Thr and Gly. *Animal Nutrition* 7 : 472-480.
- Team RC, 2020. R: A language and environment for statistical computing. Manual. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.
- Van Harn J, Dijkslag MA and van Krimpen MM, 2018. Glycine plus serine requirement of broilers fed low-protein diets: A dose response study. Wageningen Livestock Research, Report 1116.
- Van Harn J, Dijkslag MA and van Krimpen MM, 2019. Effect of low protein diets supplemented with free amino acids on growth performance, slaughter yield, litter quality, and footpad lesions of male broilers. *Poultry Science* 98: 4868-4877.
- Waldroup PW, Jiang Q and Faritts CA, 2005. Effects of Glycine and Threonine Supplementation on Performance of Broiler chicks Fed diets low in Crude Protein. *International Journal of Poultry Science* 4: 250-257.
- Veldkamp T, Dekker R, Smit-Heinsbroek A, van der Lee A and Jansman AJM, 2017. Effect of isoenergetic exchange of dietary fat and starch on growth performance and body composition of broilers – Experiment 2. Wageningen, Wageningen Livestock Research, Livestock Research Report 1062.
- Wang S, Khondowe P, Chen S, Yu J, Shu G, Zhu X, Wang L, Gao P, Xi Q, Zhang Y and Jiang Q, 2012. Effects of Bioactive amino acids leucine, glutamate, arginine and tryptophan on feed intake and mRNA expression of relative neuropeptides in broiler chicks. *Journal of Animal Science Biotech* 3-27.