

Effect of betaine supplementation and stocking densities on growth performance, carcass characteristics and meat quality of broilers

Aa Rajae¹, M Mazhari^{2*}, O Esmailipour², H Doomari³ and R Mirmahmoudi²

Received: April 9, 2023

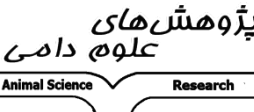

Accepted: April 29, 2024

¹ MSc graduated, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Kerman, Iran

² Associate professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Kerman, Iran

³ Assistant professor, Department of Food Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Kerman, Iran

*Corresponding author: Email: mozhgan.mazhari@gmail.com

 <p>پژوهش‌های علوم دامی Animal Science Research</p>	<p>Journal of Animal Science/vol.34 No.3/ 2024/pp 17-28 https://animalscience.tabrizu.ac.ir</p>	 <p>OPEN ACCESS</p>
<p>© 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.2024.56100.1704</p>		

Introduction: Stocking density is one of the important concern in the poultry industry and it is related to the poultry productivity and animal welfare. Stocking density for broiler chickens is defined as the number of birds or the total live weight of birds in a fixed space. Increasing broiler number in breeding environment increases led to a higher production of chicken meat, but, if stocking density exceeds over the proper range, the productivity is rather decreased because of increased health problems and decreased growth performance of broiler chickens (Cengiz et al. 2015). Natural betaine is found in several plants and organisms and it is commonly extracted and purified from beetroot. It is classified as a methyl-ammonia due to three chemically-active methyl groups bound to the nitrogen atom of a glycine molecule), and it is considered the only readily active methyl-group donor The biosynthesis of betaine is made by the oxidation of choline in the cell mitochondrion. However, this reaction is not interesting because choline deviated from its essential role in the transmission of nerve impulses, and in addition, choline content in typical corn- and soybean-based broiler diets is not sufficient supply their cell requirements for methylated compounds. Another positive aspect obtained with the dietary inclusion of betaine is the methionine-saving effect, that is, betaine donates methyl groups instead of methionine in a reaction with homocysteine (Sakomura et al. 2013). Therefore, the objective of the present study was to evaluate the effect of betaine supplementation and stocking densities on growth performance, carcass characteristics and meat quality of broilers.

Material and Methods: This experiment was performed to evaluate the effect of betaine supplement utilization on growth performance and carcass and meat quality of broilers at different stocking density. For this reason, 216 one-day-old male Ross 308 broilers were used in a 2×2 factorial arrangements with four treatments including two stocking density (7 and 15 chicks per m²) and two betaine levels (0 and 0.1 percent) and four replications. During the starter (0-10 days), grower (11-25 days), and finisher (26-42 days) phases, the birds were fed according to the Ross 308 recommendations. The diet and water were provided ad libitum during the trial. The body weight gain (BWG), feed intake (FI) and feed conversion ratio (FCR) were measured for each phase. At the end of the experiment, two birds per replicate with body weight close to the average of each cage were slaughtered to determine the Carcass characteristics after removal of head, feathers and feet. Carcass

yields were calculated relative to the live body weight. After slaughter, the right thigh and breast of broiler chickens were separated and kept at 4°C for measuring meat quality traits including water Holding Capacity, cooking loss, pH and drip loss. To determine the WHC, 4 g of breast muscle were placed in a filter paper and centrifuged at 1500×g for 4 min, Then the samples were placed in an oven at 70°C for 24 h to be dried (Castellini et al. 2002). In the case of cook loss, a piece of 1 cm³ of breast muscle was weighed and kept at 4°C for 24 h, then placed in a water bath at 85°C for 10 min and finally cleaned and re-weighed with a linen cloth (Bertram et al. 2003). For the measurement of drip loss, a piece of breast muscle was weighed and placed in a plastic bag and kept at 4°C for 24 h. The meat was then gently rubbed into the cloth and weighed again (Christensen, 2003). All data were analyzed by ANOVA utilizing GLM procedure of SAS. Means were compared for significant differences utilizing the Tukey multiple range test (P<0.05).

Results and Discussion: The results showed that feed intake and weight gain decreased significantly during the grower, finisher and whole production periods at high stocking density (P<0.05). These results agree with previous experiments that reported high stocking density decreased growth performance of broiler chickens compared with low stocking density. This could be related to various environmental and behavioral factors such as less birds' movements in a given space, and more difficulty accessing to feeders and drinkers and also the competition for food intake (Cengiz et al. 2015). The addition of 0.1% betaine increased weight gain and decreased feed conversion ratio (P<0.05). This is in agreement with other researchers who reported that addition of betaine to broiler diet under heat stress increased growth performance due to antioxidant capacity and lowering stress indexes (Sakomura et al. 2013). Studies indicated that betaine supplementation may be beneficial to the intestinal epithelium due to its osmolyte function, maintaining villi integrity and consequently promoting better nutrient digestibility and absorption (Eklund et al. 2005). The broiler carcass and breast relative weights decreased as stocking density increased (P<0.05), however the effect of stocking density was not significant on the relative weights of thigh, liver, bursa of Fabricius, spleen and abdominal fat (P>0.05). The utilization of betaine supplement increased the relative weights of carcass and breast and decreased the relative weight of ventral fat (P<0.05). It was expected that the dietary supplementation of betaine would influence carcass and parts weights due to its methyl-group donor property, which would increase methionine, cystine, and glycine for protein synthesis and also its contribution to reduce fat deposition in the carcass (Sakomura et al. 2013). The cooking loss increased and meat water holding capacity decreased as stocking density increased, while the addition of betaine led to increase in meat water holding capacity and decrease in drip and cooking losses (P<0.05). Osmotic property of betaine and its role in maintaining cell water, may be the reason of better meat quality of broiler with betaine supplementation.

Conclusion: Increasing the stocking density had negative effects on growth performance, carcass characteristics and meat quality. It seems that the dietary addition of betaine supplement could be a suitable approach for alleviating the negative effects of increasing the stocking density in broilers production via improvement in growth performance.

Keywords: Betaine, Broilers, Stocking Density, Water holding capacity, Weight gain

اثر مکمل بتائین و تراکم گله بر عملکرد رشد، ویژگی‌های لاشه و کیفیت گوشت جوجه‌های گوشتی

علی اکبر رجائی^۱، مژگان مظهری^{۲*}، امیدعلی اسماعیلی پور^۲، حسین دوماری^۲، روح اله میرمحمودی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۱۰

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه جیرفت

^۲ دانشیار گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه جیرفت

^۳ استادیار گروه علوم صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه جیرفت

*مسئول مکاتبه: Email: mozhgan.mazhari@gmail.com

چکیده

زمینه مطالعاتی: تراکم گله یکی از مسائل مهم صنعت پرورش طیور است که می‌تواند عملکرد پرنده را تحت تأثیر قرار دهد. بتائین یا تری متیل گلیسین یک افزودنی سنتتیک است که با حفظ فشار اسمزی سلول، تأمین گروه‌های متیل و خواص آنتی اکسیدانی می‌تواند در جلوگیری از اثرات منفی تنش در جوجه‌های گوشتی موثر واقع شود. هدف: این آزمایش به منظور بررسی تأثیر مکمل بتائین بر عملکرد رشد، کیفیت لاشه و گوشت جوجه‌های گوشتی در تراکم‌های مختلف پرورش، انجام شد. روش کار: این آزمایش به صورت یک آزمایش فاکتوریل ۲ در ۲ بر پایه طرح کاملاً تصادفی شامل دو تراکم گله (۷ و ۱۵ جوجه در مترمربع) و دو سطح بتائین (صفر و ۰/۱ درصد) در چهار تکرار با استفاده از ۲۱۶ قطعه جوجه گوشتی نر یک روزه سویه راس ۳۰۸ انجام شد. **نتایج:** در تراکم ۱۵ پرنده، مقدار خوراک مصرفی و افزایش وزن در دوره‌های رشد، پایانی و کل دوره پرورش به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند ($P < 0/05$). افزودن ۰/۱ درصد بتائین، میزان اضافه وزن را افزایش و ضریب تبدیل خوراک را کاهش داد ($P < 0/05$). برهم‌کنش تراکم گله و بتائین بر مصرف خوراک در دوره پایانی و کل دوره معنی‌دار بود ($P < 0/05$) و تیمارهای با تراکم ۱۵ قطعه‌ای مصرف خوراک کمتری در مقایسه با تراکم ۷ قطعه‌ای داشتند. برهم‌کنش تیمارها بر افزایش وزن و ضریب تبدیل خوراک در کل دوره پرورش، معنی‌دار بود و بیشترین وزن و کمترین ضریب تبدیل خوراک در گروه ۷ قطعه‌ای با مصرف مکمل بتائین مشاهده شد ($P < 0/05$). با افزایش تراکم گله، وزن نسبی لاشه و سینه جوجه‌های گوشتی کاهش معنی‌داری یافت ($P < 0/05$), اما اثر تراکم گله بر وزن نسبی ران، کبد، بورس فابریسیوس، طحال و چربی محوطه بطنی معنی‌دار نبود ($P > 0/05$). استفاده از مکمل بتائین وزن نسبی لاشه و سینه را افزایش و وزن نسبی چربی محوطه بطنی را کاهش داد ($P < 0/05$). با افزایش تراکم گله، افت پخت افزایش و ظرفیت نگهداری آب گوشت سینه کاهش یافت، درحالی‌که افزودن بتائین منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب و کاهش افت خونابه و پخت گوشت گردید ($P < 0/05$). **نتیجه گیری نهایی:** بر طبق نتایج این مطالعه، افزایش تراکم گله، اثر منفی بر عملکرد رشد، خصوصیات لاشه و کیفیت گوشت جوجه‌های گوشتی داشت. مکمل بتائین عملکرد رشد، وزن نسبی لاشه و سینه و کیفیت گوشت را بهبود بخشید. به نظر می‌رسد افزودن مکمل بتائین به جیره می‌تواند از طریق بهبود عملکرد رشد راهکار مناسبی جهت رفع اثرات منفی افزایش تراکم گله در پرورش جوجه‌های گوشتی باشد.

واژگان کلیدی: افزایش وزن، بتائین، تراکم گله، جوجه گوشتی، ظرفیت نگهداری آب

مقدمه

مهم افزودن بتائین حفظ ذخایر متیونین است چرا که به جای متیونین در تامین گروه‌های متیل نقش ایفا می‌کند. همچنین بتائین به علت داشتن گروه‌های متیل، به عنوان یک اسمولیت آلی در حفظ فشار اسمزی سلول نقش دارد (ساکومورا و همکاران ۲۰۱۳). بتائین خوراکی که از طریق جیره یا آب آشامیدنی وارد سلول‌های بدن شده و در تنظیم فشار اسمزی، مؤثر است، در شرایط تنش گرمایی و افزایش اسیدیته خون، مهم می‌باشد (احمد و همکاران ۲۰۱۸). گزارش شده است که تکثیر سلولی سلول‌های اندوتلیال در معرض فشار اسمزی بالا، متوقف شده و سپس مرگ سلولی اتفاق می‌افتد. بتائین اثر ضد مرگ سلولی دارد و سبب پیشرفت تکثیر سلولی در محیط‌های دارای فشار اسمزی بالا، می‌شود (راتریانکو و همکاران ۲۰۰۹). بتائین به‌عنوان یک دهنده متیل، در ساخت کارنتین و کراتین شرکت می‌کند. گزارش شده است که مصرف ۱/۵ گرم بتائین در هر کیلوگرم جیره، باعث افزایش درصد گوشت سینه شده است که به نظر می‌رسد به علت شرکت آن در سنتز ال-کارنتین باشد (ژان و همکاران ۲۰۰۶). محققین دریافتند که استفاده از سطوح ۰/۱ و ۰/۲ درصد مکمل بتائین در جیره غذایی جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی، سبب بهبود معنی‌داری در وزن زنده، افزایش وزن بدن، ضریب تبدیل خوراک و میزان مرگ و میر شد. همچنین مصرف این مکمل، سبب بهبود وزن لاشه، سینه و ران شد (نوفال و همکاران ۲۰۱۵). در یک مطالعه افزودن یک گرم در کیلوگرم مکمل بتائین به جیره غذایی جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی سبب بهبود میانگین مصرف خوراک روزانه، میانگین افزایش وزن روزانه و ضریب تبدیل خوراک، افزایش وزن عضله سینه و افزایش فعالیت آنزیم گلوکوتایون پراکسیداز در مقایسه با گروه شاهد شد (شاکری و همکاران ۲۰۱۸) بنابراین با توجه به نقش آنتی‌اکسیدانی بتائین در کاهش اثرات منفی ناشی از تنش، این آزمایش به منظور بررسی اثر افزودن بتائین به جیره، بر عملکرد رشد و کیفیت لاشه و گوشت جوجه‌های گوشتی تحت تنش تراکم انجام شد.

تراکم گله یکی از مسائل مهم در صنعت پرورش طیور است، که با بهره‌وری و رفاه طیور ارتباط دارد. تراکم گله برای بر اساس تعداد یا وزن زنده جوجه‌های گوشتی در یک فضای مشخص تعریف می‌شود. افزایش تراکم گله، اگر از حد مطلوب (۳۵ تا ۴۰ کیلوگرم در مترمربع) بیشتر نشود، سود اقتصادی به دنبال دارد، اما اگر تراکم گله از حد مطلوب بیشتر شود، با افزایش مشکلات بهداشتی و کاهش عملکرد جوجه‌های گوشتی همراه است (استیونز ۲۰۰۷). در سیستم‌های مدرن تولید جوجه‌های گوشتی، تراکم بالای پرورش می‌تواند عامل ایجاد کننده تنش باشد که بر رفاه، سلامت و عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی تاثیر منفی دارد (گومز و همکاران ۲۰۱۴). کاهش وزن بدن، مصرف خوراک و بازده خوراک جوجه‌های گوشتی در تراکم بالا توسط محققین نشان داده شده است (کنگیز و همکاران ۲۰۱۵ و سان و همکاران ۲۰۱۳). در آزمایشی، اثر تراکم‌های مختلف گله پرورشی شامل ۶ و ۱۳ پرند در مترمربع معادل ۱۲/۶ و ۲۷/۲ کیلوگرم در مترمربع، بررسی و نتایج نشان دادند که پرنده‌گانی که در تراکم ۱۳ قطعه پرنده در مترمربع پرورش یافتند، وزن نهایی بدن و مصرف خوراک روزانه کمتری در مقایسه با تراکم ۶ پرنده در مترمربع داشتند. وزن لاشه و کبد در تراکم ۱۳ پرنده در مترمربع در مقایسه با تراکم ۶ قطعه پرنده در مترمربع، کاهش معنی‌داری نشان داد (سیمیتزیس و همکاران ۲۰۱۲).

بتائین یا تری‌متیل‌گلیسین، یک ماده مغذی چندمنظوره است که به طور طبیعی از چغندر قند و یا به شکل هیدروکلراید در صنعت تولید می‌شود. بیوسنتز بتائین بوسیله اکسیداسیون کولین در میتوکندری سلول صورت می‌گیرد، اما این عمل در بدن به خوبی انجام نمی‌شود، زیرا کولین را از هدف اصلیش که انتقال پیام‌های عصبی است، منحرف می‌سازد و از طرف دیگر میزان کولین در جیره پایه ذرت-سویا به اندازه کافی نیست که بتواند نیاز سلول‌ها به گروه‌های متیل را تامین کند. از دیگر جنبه‌های

مواد و روش‌ها

برای انجام این آزمایش از ۲۱۶ قطعه جوجه گوشتی نر سویه تجاری راس ۳۰۸ در قالب آزمایش فاکتوریل ۲ در ۲ با طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تیمار و چهار تکرار در ۱۶ واحد آزمایشی با ابعاد ۱/۲×۱ متر استفاده شد. عوامل اصلی مورد بررسی شامل دو سطح بتائین (صفر و ۰/۱ درصد جیره) و دو سطح تراکم پرورش (شامل ۹ پرنده در هر واحد آزمایشی معادل ۷ پرنده در هر مترمربع یا تراکم کم و ۱۸ پرنده در هر واحد آزمایشی معادل ۱۵ پرنده در هر مترمربع یا تراکم زیاد) بودند. خوراک هر پن به صورت هفتگی تهیه و مکمل بتائین به آن اضافه شد. در طول دوره پرورش که تا سن ۴۲ روزگی به طول انجامید، پرندگان به آب و خوراک دسترسی آزاد داشتند. مراقبت‌های لازم بر اساس راهنمای پرورش سویه تجاری راس ۳۰۸ (۲۰۱۴) انجام گرفت. جیره‌ها برای تأمین مواد مغذی، براساس راهنمای پرورش سویه تجاری راس برای سه دوره آغازین (سن یک تا ۱۰ روزگی)، رشد (سن ۱۱ تا ۲۴ روزگی) و پایانی (سن ۲۵ تا ۴۲ روزگی) تنظیم شدند (جدول ۱). جوجه‌های هر قفس در ابتدا و انتهای دوره‌های آزمایشی وزن شدند. مصرف خوراک و افزایش وزن دوره اندازه‌گیری و ضریب تبدیل خوراک به صورت گرم خوراک مصرفی به گرم افزایش وزن محاسبه شد. تلفات، به صورت روزانه وزن و ثبت و مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک برای تلفات، تصحیح شدند. در سن ۴۲ روزگی، دو قطعه پرنده، با وزن نزدیک به میانگین وزنی قفس مربوطه، از هر تکرار انتخاب و کشتار شدند. وزن لاشه، بعد از کشتار پرنده و جداسازی سر، پاها و کندن پوست بدن اندازه‌گیری شد. مقادیر وزن سینه، ران‌ها، کبد، طحال و بورس فابریسیوس اندازه‌گیری شدند. سپس با تقسیم وزن اندام‌های داخلی بر وزن زنده، وزن نسبی آنها محاسبه گردید. لازم به ذکر است که به منظور حداقل کردن اثر وزن محتویات دستگاه گوارش و خالی ماندن آن حدود دوازده ساعت قبل از کشتار به جوجه‌ها گرسنگی

داده شد. پس از کشتار، گوشت سینه از لاشه جدا و از قسمت میانی تقسیم و برای سردسازی به یخچال منتقل شد.

صفات مرتبط با کیفیت گوشت، یک روز پس از کشتار اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری pH، پنج گرم از نمونه گوشت خام در ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر هم زده شد تا یکنواخت گردد و پس از صاف کردن، pH نمونه‌ها با pH متر (Sartorius مدل Professional Meter pp-50، ساخت کشور آلمان) خوانده شد. برای اندازه‌گیری ظرفیت نگهداری آب‌گوشت، چهار گرم نمونه درون گاز استریل پیچیده شد و به مدت چهار دقیقه با دور ۱۵۰۰ سانتریفیوژ شده و سپس به آرامی خشک و وزن آن اندازه‌گیری شد. پس از آن، نمونه به مدت ۲۴ ساعت درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و مجدداً وزن گردید. ظرفیت نگهداری آب‌گوشت، از تفاضل وزن پس از سانتریفیوژ و وزن پس از خشک کردن تقسیم بر وزن اولیه ضربدر ۱۰۰ تعیین شد (کاستلینی و همکاران، ۲۰۰۲).

Table 1- Ingredient and composition of broiler chicken diets

Ingredient (%)	Starter (1-10 d)	Grower (11-25 d)	Finisher (26-42 d)
Corn	50.92	54.26	57.56
Soybean meal (44% CP)	41.71	37.84	33.82
Soybean oil	3.42	4.33	5.26
Limestone	1.30	1.21	1.14
Dicalcium phosphate	1.45	1.25	1.15
Sodium chloride	0.31	0.31	0.29
DL-Methionine	0.16	0.13	0.12
L-Lysine	0.24	0.17	0.17
Vitamin and mineral premix ¹	0.50	0.50	0.50
Calculated analysis			
Metabolizable energy (kcal/kg)	3000	3100	3200
Crude protein (%)	23	21.5	20
Calcium (%)	0.96	0.87	0.81
Available Phosphorus (%)	0.48	0.43	0.41
Lysine (%)	1.44	1.29	1.19
Arginine (%)	1.78	1.66	1.53
Methionine	0.56	0.51	0.48
Methionine + cysteine (%)	0.78	0.76	0.64

¹Vitamin premix supplied the following per kilogram of diet: Retinol, 12,000 IU; Cholecalciferol, 1500 IU; α -tocopherol, 60 IU; phyloquinone, 2 mg; thiamine, 2.4 mg; riboflavin, 4.8 mg; niacin, 30 mg; pantothenic acid, 16 mg; pyridoxine, 3 mg; folic acid, 1 mg; vitamin B12, 0.03 mg; biotin, 0.15 mg; and cholin chloride, 50 mg. Mineral premix supplied the following per kilogram of diet: Mn, 80 mg; Fe, 120 mg; Zn, 60 mg; Cu, 100 mg; I, 0.95 mg; and Se, 0.25 mg.

سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. مدل آماری به شرح زیر است:

$$Y_{ijk} = \mu + D_i + B_j + D_i * B_j + e_{ijk}$$

که در این رابطه، Y_{ijk} ، مقدار مشاهده شده؛ μ ، میانگین جامعه؛ D_i ، اثر تراکم؛ B_j ، اثر سطح بتائین؛ $D_i * B_j$ ، برهم‌کنش تراکم و بتائین و e_{ijk} ، اثر خطای آزمایشی است.

نتایج و بحث

اثر تراکم گله و افزودن بتائین بر مصرف خوراک، افزایش وزن و ضریب تبدیل خوراک جوجه‌های گوشتی در دوره‌های مختلف و کل دوره پرورش، در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان دادند که اثر تراکم گله بر مصرف خوراک در دوره آغازین، برخلاف دوره رشد، پایانی و کل دوره پرورش، معنی‌دار نبود ($P > 0.05$)، اما در دوره رشد، پایانی و کل دوره پرورش، معنی‌دار بود ($P < 0.05$)، به طوریکه افزایش تراکم، منجر به کاهش مصرف خوراک شد ($P < 0.05$). اثر افزودن بتائین بر مصرف خوراک، معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). برهم‌کنش

برای اندازه‌گیری افت خونابه یک قطعه از گوشت سینه پس از وزن کشی، در پارچه کتان خالص و سپس در پاکت پلاستیکی گذاشته و به مدت ۲۴ ساعت در دمای چهار درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از ۲۴ ساعت، گوشت به آرامی روی پارچه کتان مالش داده شد و دوباره وزن شد. درصد افت خونابه از تفاضل وزن اولیه و وزن نهایی تقسیم بر وزن اولیه ضربدر ۱۰۰ محاسبه شد (کریستنسن ۲۰۰۳). برای اندازه‌گیری افت در نتیجه پخت، یک سانتی‌متر مکعب از گوشت سینه برش داد شد و وزن گردید. قطعه جدا شده گوشت به مدت ۲۴ ساعت در دمای چهار درجه سانتی‌گراد و پس از آن به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس نمونه به آرامی با پارچه کتان پاک شده و وزن شد. درصد افت پخت نیز از تفاضل وزن اولیه و وزن نهایی تقسیم بر وزن اولیه ضربدر ۱۰۰ محاسبه شد (برترام و همکاران، ۲۰۰۳). داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار آماری SAS (۹/۱) و رویه مدل‌های خطی عمومی GLM تجزیه و میانگین‌ها با آزمون توکی در

محدودیت فضای کف، سبب کاهش وزن بدن می‌شود. کاهش وزن بدن در سنین بالاتر با افزایش تراکم گله با بسیاری از مطالعات قبلی سازگار است (کنگیز و همکاران ۲۰۱۵ و سان و همکاران ۲۰۱۳). محققین گزارش کردند که افزایش وزن و خوراک مصرفی جوجه‌های گوشتی در تراکم ۱۸/۷۵ قطعه پرنده در مترمربع نسبت به تراکم‌های ۶/۲۵ و ۱۲/۵۰ قطعه پرنده در مترمربع به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، اما ضریب تبدیل خوراک تحت تاثیر تراکم گله قرار نگرفت (لی و همکاران ۲۰۱۹). محققین دیگر نیز اثر تراکم‌های ۱۴، ۱۸ و ۲۰ قطعه پرنده در مترمربع را در دو سویه راس و آربراکرز بررسی و گزارش کردند که افزایش وزن در هر دو سویه در تراکم ۲۰ قطعه نسبت به تراکم‌های ۱۸ و ۱۴ قطعه در مترمربع به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین میزان خوراک مصرفی هر دو سویه در کل دوره پرورش در تراکم‌های ۱۸ و ۲۰ قطعه نسبت به تراکم ۱۴ قطعه در مترمربع، به‌طور معنی‌داری کمتر بود. ضریب تبدیل خوراک در سویه راس، تحت تاثیر تراکم گله قرار نگرفت، ولی در سویه آربراکرز، تراکم ۲۰ قطعه پرنده در مترمربع باعث افزایش معنی‌دار ضریب تبدیل خوراک گردید (نصر و همکاران ۲۰۲۱).

تراکم گله و بتائین بر مصرف خوراک در دوره پایانی و کل دوره معنی‌دار بود ($P < 0.05$) و تیمارهای با تراکم ۱۵ قطعه‌ای مصرف خوراک کمتری در مقایسه با تراکم ۷ قطعه‌ای داشتند. اثر تراکم گله و سطوح مختلف مکمل بتائین بر افزایش وزن در دوره آغازین، معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). در دوره رشد، پایانی و کل دوره پرورش، با افزایش تعداد پرنده، میزان اضافه وزن کاهش یافت ($P < 0.05$)، درحالی‌که افزودن بتائین منجر به افزایش وزن شد ($P < 0.05$). برهم‌کنش تیمارها بر افزایش وزن در کل دوره پرورش، معنی‌دار بود و بیشترین وزن در گروه ۷ قطعه‌ای با مصرف مکمل بتائین مشاهده شد ($P < 0.05$). اثر تراکم گله بر ضریب تبدیل خوراک، معنی‌دار نبود ($P > 0.05$)، اما افزودن بتائین منجر به کاهش ضریب تبدیل خوراک در دوره رشد، پایانی و کل دوره پرورش شد ($P < 0.05$). برهم‌کنش تیمارها بر ضریب تبدیل خوراک، معنی‌دار بود و کمترین ضریب تبدیل خوراک، در گروه‌های ۷ قطعه‌ای با مصرف مکمل بتائین مشاهده شد ($P < 0.05$). اثرات افزایش تراکم بر میزان اضافه وزن بدن در این مطالعه نشان داد که افزایش سن پرندگان و افزایش تراکم و در نتیجه

Table 2- Effect of different stocking density and betaine level on performance of broilers at different ages.

Effects	Starter (1-10 d)			Grower (11-25 d)			Finisher (26-42 d)			Whole period (1-42d)		
	FI	BWG	FCR	FI	BWG	FCR	FI	BWG	FCR	FI	BWG	FCR
Stocking Density (bird/m ²)												
7	189.23	143.41	1.32	1261.82 ^a	833.73 ^a	1.51	2572.64 ^a	1465.97 ^a	1.75	4023.69 ^a	2438.96 ^a	1.65
15	186.42	139.09	1.34	1200.74 ^b	786.11 ^b	1.53	2326.04 ^b	1293.75 ^b	1.79	3713.21 ^b	2219.65 ^b	1.67
SEM	4.03	3.59	0.02	4.33	5.38	0.007	19.58	5.71	0.01	22.88	5.68	0.007
P-Value	0.63	0.41	0.46	0.0001	0.0001	0.26	0.0001	0.0001	0.08	0.0001	0.0001	0.07
Betaine (%)												
0	185.42	140.73	1.32	1227.46	797.19 ^b	1.54 ^a	2440.31	1333.68 ^b	1.83 ^a	3853.19	2268.82 ^b	1.69 ^a
0.1	190.24	141.78	1.34	1235.09	822.66 ^a	1.50 ^b	2458.37	1426.04 ^a	1.72 ^b	3883.71	2389.79 ^a	1.62 ^b
SEM	4.03	3.59	0.02	4.33	5.38	0.007	19.58	5.71	0.01	22.87	5.68	0.007
P-Value	0.41	0.84	0.41	0.24	0.006	0.002	0.53	0.0001	0.0004	0.36	≥0.0001	0.0001
Stocking × Betaine												
7 × 0	184.03	138.88	1.33	1260.41	818.06	1.54	2602.50 ^a	1412.50	1.84 ^a	4046.94 ^a	2363.89 ^b	1.71 ^a
7 × 0.1	194.44	147.94	1.31	1263.22	849.41	1.48	2542.77 ^{ab}	1519.4	1.67 ^c	4000.94 ^a	2514.02 ^a	1.59 ^c
15 × 0	186.81	142.56	1.31	1194.51	776.32	1.54	2278.12 ^c	1254.86	1.81 ^{ab}	3659.44 ^c	2173.75 ^d	1.68 ^b
15 × 0.1	186.04	135.62	1.37	1206.97	795.90	1.51	2373.96 ^b	1332.64	1.78 ^b	3766.97 ^b	2265.55 ^{bc}	1.66 ^b
SEM	5.70	5.08	0.03	6.12	7.62	0.01	27.69	8.08	0.02	32.35	8.03	0.01
P-Value	0.35	0.14	0.18	0.44	0.45	0.18	0.01	0.09	0.007	0.03	0.003	0.0006

* In each column, means with different letters are significantly different ($P < 0.05$). FI: Feed intake, BWG: Body weight gain, FCR: Feed conversion ratio, SEM: Standard error of the mean

برای رشد در اختیار آنها قرار خواهد داد (احمد و همکاران ۲۰۱۸).

اثر تراکم گله و افزودن بتائین بر خصوصیات لاشه جوجه‌های گوشتی در جدول ۳، نشان داده شده است. نتایج نشان دادند که اثر تراکم گله بر وزن نسبی لاشه و سینه معنی‌دار بود و با افزایش تراکم گله، وزن نسبی لاشه و سینه جوجه‌های گوشتی کاهش یافت ($P < 0.05$). اثر تراکم گله بر وزن نسبی اندام‌های داخلی نظیر کبد، بورس فابریسیوس، طحال و چربی محوطه بطنی معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). اثر افزودن بتائین بر وزن نسبی لاشه و سینه معنی‌دار بود و منجر به افزایش آنها شد ($P < 0.05$). همچنین وزن نسبی چربی محوطه بطنی با مکمل بتائین کاهش یافت ($P < 0.05$). برهم‌کنش تیمارها بر خصوصیات لاشه معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). کاهش وزن نسبی سینه در تراکم‌های بالای گله توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (کنگیز و همکاران ۲۰۱۵). در آزمایشی نشان داده شد که تراکم ۲۰ قطعه پرنده در مترمربع نسبت به تراکم‌های ۱۴ و ۱۸ قطعه پرنده در مترمربع در دوسویه راس و آبراکز باعث کاهش وزن نسبی لاشه، سینه، ران و افزایش وزن نسبی کبد شد (نصر و همکاران ۲۰۲۱). محققین گزارش کردند که تراکم‌های ۳۵ و ۴۰ کیلوگرم در مترمربع نسبت به تراکم‌های ۲۵ و ۳۰ کیلوگرم در مترمربع، وزن نسبی لاشه را به‌طور معنی‌داری کاهش دادند، اما بر وزن نسبی کبد و چربی محوطه بطنی تاثیر معنی‌داری نداشتند (غنیما و همکاران ۲۰۲۱). در تحقیق دیگری نشان داده شد که وزن نسبی سینه در تراکم پایین گله بیشتر از تراکم بالا بود (سان و همکاران ۲۰۱۳). دیگر محققین گزارش کردند که افزودن مکمل بتائین به جیره، بازده لاشه را افزایش داد (چن و همکاران ۲۰۱۸). در یک آزمایش افزودن مکمل بتائین به جیره، سبب بهبود وزن نسبی لاشه و سینه جوجه‌ها در شرایط تنش گرمایی نسبت به تیمار بدون مکمل بتائین شد. همچنین مکمل بتائین سبب کاهش چربی محوطه بطنی شد (لیو همکاران ۲۰۱۹). بتائین اغلب بعنوان یک اصلاح‌کننده لاشه در نظر

در آزمایشی، افزودن مکمل بتائین به جیره سبب بهبود افزایش وزن و ضریب تبدیل خوراک جوجه‌های گوشتی شد، ولی بر میزان خوراک مصرفی آنها تاثیر معنی‌داری نداشت (چن و همکاران ۲۰۱۸). محققین گزارش کردند که افزودن مکمل بتائین به جیره غذایی جوجه‌های گوشتی در شرایط تنش گرمایی سبب افزایش میزان خوراک مصرفی و افزایش وزن و کاهش ضریب تبدیل خوراک گردید (چن و همکاران ۲۰۱۷). سایر محققین نیز بهبود عملکرد جوجه‌های گوشتی در شرایط تنش را با افزودن مکمل بتائین به خوراک گزارش کردند (ساکومورا و همکاران ۲۰۱۳). در آزمایشی، نشان داده شد که افزودن مکمل بتائین به جیره به طور معنی‌داری سبب افزایش وزن و کاهش ضریب تبدیل در کل دوره پرورش گردید، اما بر میزان خوراک مصرفی تاثیر معنی‌داری نداشت (شاکری و همکاران ۲۰۱۸). محققین گزارش کردند که استفاده از سطوح ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلیگرم بتائین در هر کیلوگرم خوراک در شرایط تنش گرمایی باعث افزایش خوراک مصرفی و افزایش وزن نسبت به تیمار بدون مکمل بتائین گردید. این محققین بهبود عملکرد رشد را به خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضد تنش بتائین، نسبت دادند (لیو و همکاران ۲۰۱۹). بنابراین بهبود عملکرد رشد پرندگان تحت تنش تراکم با این ترکیب منطقی به نظر می‌رسد.

بیوسنتز بتائین بوسیله اکسیداسیون کولین در میتوکندری کبد صورت می‌گیرد، اما این عمل در بدن به خوبی انجام نمی‌شود، زیرا کولین را از هدف اصلیش که انتقال پیام‌های عصبی است، منحرف می‌سازد و از طرف دیگر میزان کولین در جیره پایه ذرت-سویا به اندازه کافی نیست که بتواند نیاز سلول‌ها به گروه‌های متیل را تامین کند. بنابراین یکی از جنبه‌های مهم افزودن بتائین حفظ ذخایر کولین و متیونین است، چرا که به جای متیونین در تامین گروه‌های متیل نقش ایفا می‌کند و به دنبال آن عملکرد رشد را بهبود بخشد. از طرف دیگر بتائین در خوراک پرندگان منجر به افزایش متابولیسم چربی شده و انرژی بیشتری

کارنیتین و کراتین شرکت می‌کند. بنابراین افزایش درصد گوشت سینه و کاهش چربی بطنی با مصرف مکمل بتائین می‌تواند به علت نقش آن در سنتز ال-کارنیتین و افزایش متابولیسم چربی باشد (ژان و همکاران ۲۰۰۶ و ساکومورا و همکاران ۲۰۱۳).

گرفته می‌شود زیرا دهنده گروه متیل است که باعث در دسترس بودن بیشتر متیونین و سیستئین برای ساخت پروتئین می‌شود و به بهبود درصد لاشه و سینه و کاهش چربی بطنی کمک می‌کند (یانگ و همکاران ۲۰۱۶). همچنین بتائین به‌عنوان یک دهنده گروه متیل در سنتز ال-

Table 3- Effect of different stocking density and betaine level on carcass characteristics (% of slaughter body weight) of broilers at 42 days of age

Effects	Carcass	Breast	Thigh	Liver	Bursa of fabricius	Spleen	abdominal fat pad
Stocking							
Density (bird/m²)							
7	69.43 ^a	33.99 ^a	28.58	2.82	0.14	0.14	1.61
15	67.51 ^b	32.59 ^b	28.30	2.83	0.12	0.13	1.65
SEM	0.47	0.20	0.14	0.13	0.01	0.008	0.12
P-Value	0.01	0.0004	0.16	0.97	0.33	0.49	0.86
Betaine (%)							
0	67.06 ^b	32.34 ^b	28.38	2.77	0.13	0.14	2.01 ^a
0.1	69.86 ^a	34.24 ^a	28.51	2.87	0.12	0.13	1.25 ^b
SEM	0.47	0.20	0.14	0.13	0.01	0.008	0.12
P-Value	0.001	0.0001	0.51	0.59	0.86	0.62	0.0009
Stocking× Betaine							
7 × 0	68.17	33.34	28.52	2.67	0.15	0.15	1.92
7 × 0.1	70.66	34.64	28.65	2.96	0.13	0.13	1.31
15 × 0	65.95	31.33	28.23	2.87	0.11	0.13	2.09
15 × 0.1	69.06	33.84	28.37	2.78	0.13	0.14	1.20
SEM	0.66	0.29	0.19	0.17	0.02	0.01	0.17
P-Value	0.65	0.06	0.98	0.31	0.46	0.38	0.43

* In each column, means with different letters are significantly different ($P < 0.05$). SEM: Standard error of the mean

آب با درصد افت خونابه و افت در نتیجه پخت، همبستگی وجود دارد به طوری که گوشت با ظرفیت نگهداری آب بالاتر، دارای درصد افت خونابه و افت در نتیجه پخت کمتری می‌باشد (ژانگ و همکاران ۲۰۱۳). در این تحقیق افت پخت در تراکم ۱۵ قطعه نسبت به تراکم ۷ قطعه در مترمربع، به‌طور معنی‌داری افزایش و ظرفیت نگهداری آب گوشت کاهش یافت که می‌تواند نشان دهنده کاهش کیفیت گوشت تولیدی در نتیجه تراکم بالای پرورش باشد. افت پخت، دلیل دنا توره شدن پروتئین گوشت می‌باشد. رشته‌های میوزین در دمای ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد و رشته‌های اکتین در دمای ۶۶ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد، دنا توره می‌شوند (دومینگز و همکاران ۲۰۱۸). محققین، افت پخت را عمدتاً ناشی از دنا توره شدن پروتئین و کاهش آب میوفیبریل‌ها بیان کرده‌اند (یانگ و همکاران ۲۰۲۱).

اثر تراکم گله و افزودن بتائین بر کیفیت گوشت جوجه‌های گوشتی در جدول ۴، آورده شده است. نتایج نشان دادند که اثر تراکم گله بر افت پخت و ظرفیت نگهداری آب گوشت، معنی‌دار بود به طوری‌که با افزایش تراکم گله، افت پخت افزایش و ظرفیت نگهداری آب گوشت، کاهش یافت ($P < 0.05$). اثر افزودن بتائین بر افت خونابه، ظرفیت نگهداری آب و افت پخت معنی‌دار بود و منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب و کاهش افت خونابه و پخت گردید ($P < 0.05$). برهم‌کنش تیمارها بر کیفیت گوشت معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). ویژگی‌هایی نظیر میزان pH، ظرفیت نگهداری آب، افت پخت و افت خونابه نشان دهنده کیفیت گوشت می‌باشند. ظرفیت نگهداری آب، یکی از ویژگی‌های مهم کیفیت گوشت است که بر آبدار بودن گوشت تازه و محصول نهایی تأثیر می‌گذارد بین درصد ظرفیت نگهداری

Table 3- Effect of different stocking density and Betaine level on meat quality traits of broilers at 42 days of age

Effects	pH	Water holding	Dripping loss	Cooking loss
Stocking Density (bird/m²)				
7	6.76	61.87 ^a	11.82	29.65 ^b
15	6.73	59.50 ^b	12.47	32.27 ^a
SEM	0.13	0.58	0.36	0.60
P-Value	0.86	0.01	0.23	0.009
Betaine (%)				
0	6.79	59.75 ^b	13.40 ^a	32.35 ^a
0.1	6.69	61.62 ^a	10.90 ^b	29.57 ^b
SEM	0.13	0.58	0.36	0.60
P-Value	0.62	0.04	0.0004	0.007
Stocking× Betaine				
7 × 0	6.79	60.75	12.85	30.80
7 × 0.1	6.73	63.00	10.80	28.50
15 × 0	6.78	58.75	13.95	33.90
15 × 0.1	6.66	60.25	11.00	30.65
SEM	0.19	0.82	0.51	0.85
P-Value	0.83	0.65	0.40	0.58

* In each column, means with different letters are significantly different ($P < 0.05$). SEM: Standard error of the mean

و در تنظیم فشار اسمزی مؤثر باشد (فاروخی و همکاران ۲۰۰۵). خاصیت حفظ آب سلول‌ها توسط بتائین می‌تواند دلیل افزایش ظرفیت نگهداری آب گوشت و کاهش افت پخت و خونابه با افزودن مکمل بتائین در این آزمایش باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج این آزمایش نشان دادند که با افزایش تراکم گله، خوراک مصرفی و افزایش وزن در دوره‌های رشد، پایانی و کل دوره پرورش، کاهش یافتند. همچنین با افزایش تراکم گله، بازده لاشه، وزن نسبی عضلات سینه و کیفیت گوشت جوجه‌های گوشتی کاهش یافت. افزودن ۰/۱ درصد بتائین به جیره، میزان اضافه وزن را افزایش و ضریب تبدیل خوراک را کاهش داد. همچنین مکمل بتائین وزن نسبی لاشه و سینه و کیفیت گوشت جوجه‌های گوشتی را افزایش داد. با توجه به اثرات منفی بدست آمده از تراکم بالای گله بر عملکرد رشد و بهبود آنها با افزودن بتائین، می‌توان از این مکمل در جهت پیشگیری از تاثیرات منفی ناشی از تنش تراکم در پرورش جوجه‌های گوشتی استفاده کرد.

محققین تاثیر تراکم گله بر عملکرد اردک‌های پکنی پرورش یافته در تراکم‌های ۵، ۸ و ۱۱ قطعه در مترمربع را بررسی و گزارش کردند که میزان افت خونابه در تراکم‌های ۸ و ۱۱ قطعه‌ای به طور معنی‌داری بیشتر از تراکم ۵ قطعه در مترمربع بود. همچنین میزان اسیدیته گوشت ۴۵ دقیقه بعد از کشتار، در تراکم‌های ۸ و ۱۱ قطعه به طور معنی‌داری کاهش یافت (ژانگ و همکاران ۲۰۱۸). در مطالعه‌ای بر روی جوجه‌های گوشتی دوسویه راس و آبراکز نشان داده شد که تراکم ۲۰ قطعه پرند در مترمربع نسبت به تراکم‌های ۱۴ و ۱۸ قطعه پرند در مترمربع باعث کاهش pH، افزایش افت پخت و افت خونابه گوشت سینه و ران گردید (نصر و همکاران ۲۰۲۱).

در تحقیقی دیگر گزارش شد که استفاده از مکمل بتائین در شرایط تنش گرمایی تاثیر معنی‌داری بر pH گوشت سینه و ران نداشت (لیو و همکاران ۲۰۱۹). شاکری و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که افزودن مکمل بتائین به جیره غذایی جوجه‌های گوشتی به طور معنی‌داری باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب و کاهش افت خونابه گوشت شد اما بر افت پخت تاثیر معنی‌داری نداشت. بتائین به علت داشتن گروه‌های متیل می‌تواند وارد سلول‌های بدن شده

منابع مورد استفاده

- Ahmed M, Ismail Z and Abdel-Wareth A, 2018. Application of betaine as feed additives in poultry nutrition—a review. *Journal of Experimental and Applied Animal Sciences* 2(3):266-272.
- Bertram HC, Andersen HJ, Karlsson AH, Horn P, Hedegaard J, Nørgaard L and Engelsen SB, 2003. Prediction of technological quality (cooking loss and Napole Yield) of pork based on fresh meat characteristics. *Meat Science* 65: 707-712.
- Castellini C, Mugnai CAND and Dal Bosco A, 2002. Effect of organic production system on broiler carcass and meat quality. *Meat Science* 60: 219-225.
- Cengiz O, Koksall B.H, Tatli O, Sevim O, Ahsan U, Uner AG, et al., 2015. Effect of dietary probiotic and high stocking density on the performance, carcass yield, gut microflora, and stress indicators of broilers. *Poultry Science* 94: 2395-2403.
- Chand N, Naz S, Maris H, Khan RU, Khan S and Qureshi MS, 2017. Effect of betaine supplementation on the performance and immune response of heat stressed broilers. *Pakistan Journal of Zoology* 49: 1857-1862.
- Chen R, Zhuang S., Chen YP, Cheng YF, Wen C and Zhou YM, 2018. Betaine improves the growth performance and muscle growth of partridge shank broiler chickens via altering myogenic gene expression and insulin-like growth factor-1 signaling pathway. *Poultry Science* 97(12): 4297-4305.
- Christensen LB, 2003. Drip loss sampling in porcine m. longissimus dorsi. *Meat Science* 63(4): 469-477.
- Dominguez-Hernandez E, Salaseviciene A and Ertbjerg P, 2018. Low-temperature long-time cooking of meat: Eating quality and underlying mechanisms. *Meat Science* 143: 104-113.
- Eklund M, Bauer E, Wamatu J and Mosenthin R, 2005. Potential nutritional and physiological functions of betaine in livestock. *Nutrition Research Reviews* 18: 31-48.
- Estevez I, 2007. Density allowances for broilers: where to set the limits? *Poultry Science* 86(6):1265-1272.
- Farooqi HAG, Khan MS, Khan MA, Rabbani M, Pervez K and Khan JA, 2005. Evaluation of betaine and vitamin C in alleviation of heat stress in broilers. *International Journal of Agriculture Biology* 5: 744-746.
- Ghanima MMA, Swelum AA, Shukry M, Ibrahim SA, Abd El-Hack ME, Khafaga AF, et al., 2021. Impacts of tea tree or lemongrass essential oils supplementation on growth, immunity, carcass traits, and blood biochemical parameters of broilers reared under different stocking densities. *Poultry Science*, 100: 1-10.
- Gomes AVS, Quinteiro-Filho WM, Ribeiro A, Ferraz-de-Paula V, Pinheiro ML, Baskeville E, et al., 2014. Overcrowding stress decreases macrophage activity and increases Salmonella Enteritidis invasion in broiler chickens. *Avian Pathology* 43: 82-90.
- Li XM, Zhang MH, Liu SM, Feng JH, Ma DD, Liu QX, et al., 2019. Effects of stocking density on growth performance, growth regulatory factors, and endocrine hormones in broilers under appropriate environments. *Poultry Science* 98: 6611-6617.
- Liu W, Yuan Y, Sun C, Balasubramanian B, Zhao Z and An L, 2019. Effects of dietary betaine on growth performance, digestive function, carcass traits, and meat quality in indigenous yellow-feathered broilers under long-term heat stress. *Animals* 9: 1-14.
- Nasr MAF, Alkhedaide AQ, Ramadan AA, Abd-El Salam EH and Hussein MA, 2021. Potential impact of stocking density on growth, carcass traits, indicators of biochemical and oxidative stress and meat quality of different broiler breeds. *Poultry Science* 100: 1-12.
- Nofal ME, Magda AG, Mousa SMM, Doaa MM and Bealsh AMA, 2015. Effect of dietary betaine supplementation on productive, physiological and immunological performance and carcass characteristic of growing developed chicks under the condition of heat stress. *Egyptian Poultry Science Journal* 35: 237-259.
- Pang B, Yu X, Bowker B, Zhang J, Yang Y and Zhuang H, 2021. Effect of meat temperature on moisture loss, water properties, and protein profiles of broiler pectoralis major with the woody breast condition. *Poultry Science* 100: 1283-1290.
- Ratriyanto A, Mosenthin R, Bauer E and Eklund M, 2009. Metabolic osmoregulatory and nutritional functions of betaine in monogastric animals. *Asian-Australian Journal of Animal Science* 10:1461-1476.

- Sakomura NK, Barbosa NAA, Longo FA, Da Silva EP, Bonato MA and Fernandes JBK, 2013. Effect of dietary betaine supplementation on the performance, carcass yield, and intestinal morphometrics of broilers submitted to heat stress. *Brazilian Journal of Poultry Science* 15: 105-112.
- Shakeri M, Cottrell JJ, Wilkinson S, Le HH, Suleria HA, Warner RD, et al., 2020. Dietary betaine reduces the negative effects of cyclic heat exposure on growth performance, blood gas status and meat quality in broiler chickens. *Agriculture* 10: 1-12.
- Shakeri M, Cottrell JJ, Wilkinson S, Ringuet M, Furness JB, et al., 2018. Betaine and antioxidants improve growth performance, breast muscle development and ameliorate thermoregulatory responses to cyclic heat exposure in broiler chickens. *Animals* 8: 1-16.
- Simitzis PE, Kalogeraki E, Goliomytis M, Charismiadou MA, Triantaphyllopoulos K, Ayoutanti A and Deligeorgis SG, 2012. Impact of stocking density on broiler growth performance, meat characteristics, behavioral components and indicators of physiological and oxidative stress. *British Poultry Science* 53: 721-730.
- Sun ZW, Yan L, Zhao JP, Lin H and Guo YM, 2013. Increasing dietary vitamin D3 improves the walking ability and welfare status of broiler chickens reared at high stocking densities. *Poultry Science* 92: 3071-3079.
- Yang Z, Wang ZY, Yang HM, Zhao FZ and Kong LL, 2016. Response of growing goslings to dietary supplementation with methionine and betaine. *British Poultry Science* 57: 833-841.
- Zhan XA, Li JX, Xu ZR and Zhao RQ, 2006. Effects of methionine and betaine supplementation on growth performance, carcass composition and metabolism of lipids in male broilers. *British Poultry Science* 47: 576-580.
- Zhang YR, Zhang LS, Wang Z, Liu Y, Li FH, Yuan JM, et al., 2018. Effects of stocking density on growth performance, meat quality and tibia development of Pekin ducks. *Animal Science Journal* 89: 925-930.
- Zhang W, Xiao S and Ahn DU, 2013. Protein oxidation: basic principles and implications for meat quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 53: 1191-1201.