University of Tehran Press

Journal of Veterinary Research

Homepage: jvr.ut.ac.ir

Online ISSN: 2251-6190

Original Article

J Vet Res, Volume 79, Number 4, 2024, 233-248

Effect of Three Types of Probiotics on Growth Performance and Sensory and Qualitative Indices of Breast Muscle in Broilers Exposed to Chronic Heat Stress

Kavian Rezaei[1]✉, Seyedeh Alemeh Hosseinian[2]✉, Sara Basiri[3]✉, Kimiya Nader[1]✉

[1] *Graduated from the School of Veterinary Medicine, Shiraz University, Shiraz, Iran*
[2] *Department of Clinical Sciences, Avian Diseases Research Center, School of Veterinary Medicine, Shiraz University, Shiraz, Iran*
[3] *Department of Food Hygiene, School of Veterinary Medicine, Shiraz University, Shiraz, Iran*

Received: *30 June 2024,* ***Accepted:*** *15 September 2024*

10.22059/JVR.2024.377983.3443

Abstract

BACKGROUND: Probiotics are of interest to researchers due to their beneficial effects in controlling the negative impacts of heat stress in broiler chickens.

OBJECTIVES: The present study was performed to investigate the effects of three different probiotics administered via drinking water on the growth performance and sensory and qualitative indices of breast meat in broilers under heat stress.

METHODS: A total of 150 one-day-old Cobb 500 broilers were divided into five groups (four replicates with 10 birds in each) in a completely randomized design. The treatment groups included: negative control (normal temperature), positive control (heat stress), HSBacil (heat stress and *Bacillus* probiotic), HSLAB (heat stress and *Lactobacillus* probiotic), and HSMix (heat stress and a mixture of *Bacillus* and *Lactobacillus* probiotics). Chronic heat stress induction and probiotic administration were performed from 21 to 42 days of age.

RESULTS: After the challenge, the broilers in the positive control group had lower feed intake and weight gain, as well as a greater feed conversion ratio compared to those in the negative control group. Broilers in the HSLAB and HSMix groups exhibited greater weight gain and a more favorable feed conversion ratio compared to those in the positive control group (P<0.05). There was no difference in weight gain between the broilers in the HSLAB and HSMix treatments compared to the negative control treatment. The sensory scores of the breast meat in the positive control group were lower than the negative control group (P<0.05). The use of probiotics improved the sensory indices of breast meat (P<0.05). The HSMix treatment showed no significant difference from the negative control treatment in most of the meat sensory indices. Peroxide value in fat tissue in positive control birds was greater than negative control birds (P<0.05). The peroxide value in the HSMix treatment was lower than the positive control treatment (P<0.05).

CONCLUSIONS: The results showed that *Bacillus* and *Lactobacillus* probiotics, individually or in combination, are effective in improving the growth performance and meat sensory indices, as well as reducing the peroxide value in broilers under heat stress. These probiotics can be a useful strategy to mitigate the negative effects of heat stress.

Keywords: Broiler, Growth performance, Heat stress, Meat quality, Probiotic

Copyright © Journal of Veterinary Research: Open Access; Copying, distribution and publication are free for full use with attribution. ©The Author(s).
Publisher: University of Tehran Conflict of interest: The authors declared no conflict of interest.

Corresponding author: Seyedeh Alemeh Hosseinian, Tel/Fax: +9871-36138729/ +9821-32286940

How to cite this article:

Rezaei K, Hosseinian SA, Basiri S, Nader K. Effect of Three Types of Probiotics on Growth Performance and Sensory and Qualitative Indices of Breast Muscle in Broilers Exposed to Chronic Heat Stress. J Vet Res, 2024; 79(4): 233-248. doi: 10.22059/jvr.2024.377983.3443

Figure Legends and Table Captions

Table 1. Composition and calculated analysis of the basal diets at various experiment phases.
Table 2. The effect of three different types of probiotics on the growth performance of broilers under chronic heat stress (Mean±SD).
Table 3. The effect of three different types of probiotics on crude fat, dry matter, ash and pH of breast meat in broilers under chronic heat stress (Mean±SD).
Table 4. The effect of three different types of probiotics on the texture indices of breast meat in broilers under chronic heat stress (Mean±SD).
Table 5. The effect of three different types of probiotics on the sensory indices of breast meat in broilers under chronic heat stress (Mean±SD).
Table 6. The effect of three different types of probiotics on the color indices of breast meat of in broilers under chronic heat stress (Mean±SD).
Figure 1. The effect of three different probiotics on the peroxide value in abdominal fat at 42 days of age in broilers exposed to chronic heat stress.
Figure 2. The effect of three different probiotics on water holding capacity (WHC) in the breast muscle of 42-day-old broilers exposed to chronic heat stress.

مجله تحقیقات دامپزشکی
Homepage: jvr.ut.ac.ir
شاپا الکترونیکی: ۶۱۹۰-۲۲۵۱
انتشارات دانشگاه تهران
مقاله پژوهشی
دوره ۷۹، شماره ۴، ۱۴۰۳، ۲۴۸-۲۳۳

بررسی اثر سه نوع پروبیوتیک بر عملکرد رشد، شاخص‌های حسی و کیفی عضله‌سینه در جوجه‌های گوشتی در شرایط تنش گرمایی مزمن

کاویان رضائی[۱]، سیده‌عالمه حسینیان[۲]، سارا بصیری[۳]، کیمیا نادر[۱]

[۱] *دانش آموخته، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران*
[۲] *گروه علوم درمانگاهی، مرکز تحقیقات بیماری‌های پرندگان، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران*
[۳] *گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران*

تاریخ دریافت: ۱۰ تیرماه ۱۴۰۳ ، **تاریخ پذیرش:** ۲۵ شهریور ماه ۱۴۰۳

10.22059/jvr.2024.377983.3443

چکیده

زمینه مطالعه: پروبیوتیک‌ها به‌واسطه اثرات مفیدشان جهت کنترل اثرات منفی تنش گرمایی در جوجه‌های گوشتی موردتوجه محققین می‌باشند.

هدف: مطالعه حاضر به‌منظور بررسی اثرات سه ترکیب پروبیوتیکی متفاوت در آب آشامیدنی بر عملکرد رشد و شاخص‌های حسی و کیفی عضله سینه جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی انجام شد.

روش‌کار: ۱۵۰ قطعه جوجه گوشتی ۱ روزه سویه کاب ۵۰۰ در قالب طرح کاملاً تصادفی به ۵ تیمار (۴ تکرار و ۱۰ قطعه در هر تکرار) تقسیم شدند. تیمارهای آزمایش، شامل شاهد منفی (دمای طبیعی)، شاهد مثبت (تنش گرمایی)، HSBacil (تنش گرمایی و دریافت‌کننده پروبیوتیک *باسیلوس*)، HSLAB (تنش گرمایی و دریافت‌کننده پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس*) و HSMix (تنش گرمایی و دریافت‌کننده پروبیوتیک مخلوط *باسیلوس* و *لاکتوباسیلوس*) بود. القای تنش گرمایی مزمن و افزودن پروبیوتیک به آب آشامیدنی از سن ۲۱ تا ۴۲ روزگی انجام شد.

نتایج: در روزهای بعد از تنش، جوجه‌های گروه شاهد مثبت در مقایسه با گروه شاهد منفی مصرف خوراک و افزایش وزن کمتر و ضریب تبدیل خوراک بالاتری داشتند و جوجه‌های گوشتی مربوط به تیمارهای HSLAB و HSMix افزایش وزن بالاتر و ضریب تبدیل خوراک بهتری در مقایسه با پرندگان شاهد مثبت داشتند ($P<۰/۰۵$). تفاوتی در افزایش وزن بین جوجه‌های مربوط به تیمارهای HSLAB و HSMix با تیمار شاهد منفی مشاهده نشد. مقادیر شاخص‌های حسی عضله سینه در پرندگان شاهد مثبت از پرندگان شاهد منفی کمتر بود ($P<۰/۰۵$). استفاده از پروبیوتیک‌ها شاخص‌های حسی عضله سینه را بهبود بخشید ($P<۰/۰۵$). تیمار HSMix ازنظر بیشتر شاخص‌های حسی گوشت تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد منفی نداشت. عدد پراکسید در بافت چربی در پرندگان شاهد مثبت بالاتر از پرندگان شاهد منفی بود ($P<۰/۰۵$). عدد پراکسید در تیمار HSMix از تیمار شاهد مثبت کمتر بود ($P<۰/۰۵$).

نتیجه‌گیری نهایی: به‌طورکلی نتایج نشان داد دریافت پروبیوتیک *باسیلوس* و *لاکتوباسیلوس* به‌صورت تکی و یا ترکیبی در بهبود عملکرد رشد و شاخص‌های حسی گوشت و همچنین کاهش عدد پراکسید در پرندگان تحت تنش گرمایی مؤثر بوده و می‌تواند راهبردی سودمند برای کاهش اثرات منفی تنش گرمایی باشد.

کلمات کلیدی: پروبیوتیک، تنش گرمایی، جوجه گوشتی، عملکرد رشد، کیفیت عضله سینه

کپی‌رایت © مجله تحقیقات دامپزشکی: دسترسی آزاد؛ کپی‌برداری، توزیع و نشر برای استفاده کامل با ذکر منبع آزاد است، © نویسندگان.
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

نویسنده مسئول: *سیده‌عالمه حسینیان، گروه علوم درمانگاهی، مرکز تحقیقات بیماری‌های پرندگان، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران*

مقدمه

تنش، پاسخ‌های فیزیولوژیک و غیراختصاصی یک موجود زنده به یک عامل غیرطبیعی و تنش‌زا می‌باشد. دستگاه‌ها و فرایندهای متعدد موجود در بدن، عوامل تنش‌زا را شناسایی می‌کنند و به آن‌ها پاسخ می‌دهند (۱). در طول دوره پرورش، پرندگان همواره در معرض

مواجهه با تنش‌های مختلف عفونی و غیرعفونی قرار دارند. تنش گرمایی یکی از رایج‌ترین تنش‌های محیطی موجود در صنعت طیور، به‌ویژه در فصول گرم و در مناطق گرمسیری است (۲). پرندگان به‌دلیل نداشتن غدد عرق و سرعت بالای متابولیسم پایه، به دماهای محیطی بالا بسیار حساس می‌باشند و در صورت قرارگیری در محیطی با دمای بالاتر از بازه دمایی طبیعی، در معرض تنش گرمایی و تنش اکسایشی (Oxidative stress) ناشی از آن قرار می‌گیرند (۳). تنش گرمایی یکی از مهم‌ترین چالش‌های موجود در صنعت طیور در سراسر دنیا می‌باشد و همواره خسارات اقتصادی فراوانی به آن وارد می‌سازد. اثرات مضر تنش گرمایی بر جوجه‌های گوشتی شامل کاهش معنی‌داری در رفاه پرنده، نرخ رشد، میزان اشتها، مصرف خوراک و همچنین کمیت و کیفیت گوشت تولیدی است (۴). تنش گرمایی در جوجه‌های گوشتی، به دلیل اثرات مخرب بر سلامت دستگاه گوارش به کاهش عملکرد رشد و کاهش کیفیت گوشت تولیدی منجر می‌شود. علاوه‌براین، تنش گرمایی به کاهش ظرفیت نگهداری آب (Water holding capacity [WHC]) و pH گوشت پرندگان منجر شده و درنتیجه موجب تغییر رنگ، طعم و بافت طبیعی گوشت می‌شود (۵).

محقیقن مختلف نشان داده‌اند تنش گرمایی با ایجاد اختلال در سنتز پروتئین و افزایش چربی نامطلوب در گوشت باعث تغییرات منفی در کیفیت کلی و شاخص‌های حسی گوشت می‌شود (۵، ۶). ارزیابی شاخص‌های مختلف گوشت، ازجمله pH، WHC، شاخص‌های حسی، شاخص‌های بافت‌سنجی و همچنین شاخص‌های فیزیکی رنگ گوشت از پرکاربردترین پارامترها برای ارزیابی اثرات منفی تنش گرمایی بر کیفیت گوشت محسوب می‌شود (۷). در پرندگان تحت تنش گرمایی، به دنبال وقوع تنش اکسایشی در بدن، محتوای چربی موجود در بدن و عدد پراکسید (Peroxid value) به‌عنوان شاخص اکسیداسیون چربی تغییر می‌کند (۸). در همین راستا، در سال‌های اخیر، محققین راهبردهای تغذیه‌ای مختلفی برای مقابله با اثرات منفی تنش گرمایی، بهبود رفاه و سلامت عمومی پرندگان تحت تنش گرمایی مطالعه کرده‌اند (۹). در سال‌های اخیر، پروبیوتیک‌ها به‌واسطه اثرات مفیدشان بر بهبود سلامت روده و نرخ رشد در پرندگان به‌عنوان افزودنی ارزشمند در کاهش اثرات نامطلوب تنش‌های عفونی و غیرعفونی در جوجه‌های گوشتی موردتوجه بسیاری از پژوهشگران بوده‌اند (۱۰).

پروبیوتیک‌ها، میکروارگانیسم‌های مفید زنده‌ای می‌باشند که توانایی تقویت پاسخ‌های ایمنی بدن، حفظ تعادل میکروبی و سلامت روده و درنهایت افزایش عملکرد رشد و تولید ماکیان را دارند. گنجاندن مکمل‌های پروبیوتیکی در برنامه غذایی طیور موجب بهبود عملکرد رشد، افزایش وزن، ضریب تبدیل خوراک و کاهش نرخ مرگ‌ومیر در شرایط محیطی تنش‌زا می‌شود (۱۱). پروبیوتیک‌ها به‌عنوان درمان‌های میکروبی طبیعی عمل می‌کنند که با تنظیم محیط میکروبی روده و حفظ یکپارچگی آن به بهبود نرخ عملکرد رشد و تولید در طیور تحت تنش گرمایی کمک می‌کنند (۱۱). همچنین افزودن پروبیوتیک‌ها برای بهینه‌سازی عملکرد سیستم ایمنی بدن و کیفیت گوشت به‌عنوان یکی از راهبردهای مفید و مؤثر در کنترل اثرات نامطلوب تنش گرمایی معرفی شده است (۱۲). گونه‌های مختلف باکتری *لاکتوباسیلوس* و *باسیلوس* پرمصرف‌ترین میکروارگانیسم‌های پروبیوتیکی در صنعت پرورش مرغ گوشتی محسوب می‌شوند. *باسیلوس*‌ها، باکتری‌های گرم مثبت و اسپورزا و *لاکتوباسیلوس*‌ها، باکتری‌های گرم مثبت و غیراسپورزا می‌باشند. پروبیوتیک‌های اسپورزا در مقایسه با پروبیوتیک‌های غیراسپورزا توانایی بیشتری برای پایداری و مقاومت در برابر pH قسمت‌های مختلف دستگاه گوارش دارند. ثبات اسپور این ارگانیسم‌ها در طول عبور از دستگاه گوارش و قدرت تکثیر این میکروارگانیسم‌ها در قسمت‌های انتهایی دستگاه گوارش پرندگان در مقایسه با پروبیوتیک‌های غیراسپورزا بیشتر است (۱۳).

Wang و همکاران در سال ۲۰۱۸ و Cramer و همکاران در سال ۲۰۱۸ اثرات مثبت باکتری *باسیلوس سابتیلیس* را در کنترل اثرات منفی استرس گرمایی در جوجه گوشتی اثبات کردند (۱۴، ۱۵). در مطالعه دیگری، Jahromi و همکاران در سال ۲۰۱۶، اثرات مثبت پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس* در کنترل استرس گرمایی را نشان داده‌اند (۱۶). اثربخشی پروبیوتیک‌ها در پرندگان براساس نوع، سویه، تعداد جنس یا گونه مورداستفاده متفاوت است (۱۷). باتوجه‌به مطالعات محدود درزمینه مقایسه بین اثر پروبیوتیک‌های مختلف در پرندگان، مقایسه اثر ترکیبات مختلف پروبیوتیکی بر کنترل تنش در پرندگان و انتخاب بهترین ترکیب برای بهبود شرایط سلامت و نرخ بهره‌وری رشد و تولید پرنده ارزشمند می‌باشد.

مطابق این فرضیه، مصرف پروبیوتیک‌ها می‌تواند سلامت و بهره‌وری جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی مزمن را بهبود بخشد. بااین‌حال مطالعات محدودی برای مقایسه اثر تجویز ترکیبات پروبیوتیکی حاوی *باسیلوس* و *لاکتوباسیلوس* به‌صورت جداگانه یا ترکیبی از طریق آب آشامیدنی در جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی مزمن وجود دارد. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف بررسی و مقایسه اثرات

سه ترکیب پروبیوتیکی متفاوت (پروبیوتیک‌های *باسیلوس* و *لاکتوباسیلوس* به‌صورت جداگانه یا ترکیبی) بر عملکرد رشد، شاخص‌های کیفی گوشت (شامل شاخص‌های شیمیایی، حسی و بافت‌سنجی) و عدد پراکسید بافت چربی شکمی در جوجه‌های گوشتی به‌منظور تعیین مؤثرترین ترکیب پروبیوتیکی برای بهبود وضعیت سلامت تحت تنش گرمایی مزمن انجام شد.

مواد و روش کار

پرندگان و گروه‌بندی: مطالعه حاضر در مرکز تحقیقات طیور واقع در دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شیراز انجام شد. تمام مراحل مطابق با دستورالعمل‌های تهیه شده توسط کمیته مراقبت و استفاده از حیوانات آزمایشگاهی (IACUC no: 4687/63) و تأیید شده توسط کمیته مراقبت و استفاده از حیوانات آزمایشگاهی دانشگاه شیراز (شماره تایید: ۴۰۰/۹۷۳۰۱۰۰) انجام شد. درمجموع، ۱۵۰ قطعه جوجه گوشتی ۱ روزه از سویه کاب ۵۰۰ خریداری و در قالب کاملاً تصادفی در ۵ گروه (۳ تکرار و هر تکرار شامل ۱۰ قطعه جوجه) تقسیم شدند. گروه‌های موردمطالعه به این شرح بود:

۱. گروه شاهد منفی: جوجه‌های پرورش‌یافته در دمای معمول و دریافت‌کننده آب آشامیدنی فاقد پروبیوتیک؛

۲. گروه شاهد مثبت: جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده آب آشامیدنی فاقد پروبیوتیک؛

۳. گروه HSBacil: جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده ترکیب پروبیوتیکی نوع ۱، حاوی ۴ گونه مختلف از جنس *باسیلوس* (*Bacillus*)؛

۴. گروه HSLAB: جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده ترکیب پروبیوتیکی نوع ۲، متشکل از ۴ گونه مختلف از جنس *لاکتوباسیلوس* (*Lactobacillus*)؛

۵. گروه HSMix: جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده ترکیب پروبیوتیکی نوع ۳، حاوی ۴ گونه مختلف از جنس *باسیلوس* و ۴ گونه مختلف از جنس *لاکتوباسیلوس*.

گروه‌های مختلف در اتاق‌های جداگانه و با شرایط کنترل‌شده محیطی در داخل قفس با اندازه مناسب و سیستم آبخوری پستانکی و سیستم دان‌خوری ناودانی نگهداری شدند. در طول مطالعه حاضر، پرندگان با جیره‌هایی بر پایه کنجاله ذرت و سویا با اجزا و ترکیبات کاملاً مشابه و در سه مرحله تغذیه‌ای مجزا، شامل جیره آغازین (از ۱ تا ۱۰ روزگی)، جیره رشد (از ۱۱ تا ۲۴ روزگی) و جیره پایانی (از ۲۵ تا ۴۲ روزگی) تغذیه شدند (جدول ۱). رژیم‌های پایه براساس نیازهای مواد مغذی توصیه‌شده برای جوجه گوشتی سویه کاب ۵۰۰ و براساس استانداردهای پیشنهادی شورای ملی تحقیقات (NRC) تنظیم شدند (۱۸). خوراک‌های لازم برای تغذیه و تأمین مواد مغذی موردنیاز جوجه‌های گوشتی به‌صورت حبه تهیه شد. در کل دوره مطالعه، دریافت آب و خوراک برای پرندگان به‌صورت آزادانه بود.

القای تنش گرمایی: دمای اتاق‌های نگهداری پرندگان در ۳ روز اول مطالعه، ۳۴ درجه سلسیوس بود. سپس دمای محیط به‌تدریج به ۲۴ درجه سلسیوس کاهش یافت و این دما تا سن ۲۱ روزگی ثابت نگهداشته شد. القای تنش گرمایی در مطالعه حاضر تجربی از روز ۲۱ تا ۴۲ مطالعه انجام شد. در سن ۲۱ روزگی، در گروه‌های تحت تنش گرمایی (شاهد مثبت، HSBacil، HSLAB و HSMix)، دمای محیط برای القای تنش گرمایی تجربی افزایش یافت. گروه شاهد منفی در اتاقی جداگانه در طول شبانه‌روز در بازه دمایی طبیعی (۲±۲۴ درجه سلسیوس) و گروه‌های تحت تنش گرمایی در اتاق‌های کنترل‌شده به‌مدت ۸ ساعت در شبانه‌روز (ساعت ۹ تا ۱۷) در بازه دمایی ۲±۳۸ درجه سلسیوس و به‌مدت ۱۶ ساعت (ساعت ۱۷ تا ساعت ۹) در بازه دمایی معمول نگهداری شدند (۱۹).

آماده‌سازی و افزودن پروبیوتیک‌ها به آب آشامیدنی (پروبیوتیک‌های مورداستفاده در مطالعه حاضر به این صورت بود): ۱. پروبیوتیک نوع ۱: حاوی مقادیر مساوی از گونه‌های *باسیلوس کوآگولانس* (*Bacillus coagulans*)، *باسیلوس ایندیکوس* (*Bacillus indicus*)، *باسیلوس لیچینیفورمیس* (*Bacillus licheniformis*) و *باسیلوس سابتیلیس* (*Bacillus subtilis*)، ۲. پروبیوتیک نوع ۲: حاوی مقادیر مساوی از گونه‌های *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* (*Lactobacillus acidophilus*)، *لاکتوباسیلوس بوخنری* (*Lactobacillus buchneri*)، *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* (*Lactobacillus plantarum*) و *لاکتوباسیلوس رامنوسوس* (*Lactobacillus rhamnosus*)، ۳. پروبیوتیک نوع ۳: به‌صورت مخلوط پروبیوتیک‌های نوع ۱ و ۲ بود. در مطالعه حاضر، هم‌زمان با شروع چالش گرمایی (۲۱ روزگی) تا انتهای مطالعه (۴۲ روزگی)، در گروه‌های HSBacil، HSLAB و HSMix، به‌ترتیب پروبیوتیک‌های نوع ۱، ۲ و ۳ به آب آشامیدنی پرندگان افزوده شد. باکتری‌های مورداستفاده برای ساخت ترکیبات مذکور، به‌صورت پودر و از شرکت پردیس رشد مهرگان (شیراز، ایران) تهیه و بعد از آماده‌سازی به نسبت مساوی با همدیگر ترکیب شدند. در مطالعه حاضر، از ۲۱ تا ۴۲ روزگی به‌طور روزانه

پروبیوتیک‌های موردآزمایش به میزان ۱ گرم در لیتر و با غلظت $۱۰^{۹}$ × ۴ واحد تشکیل‌دهنده کلنی در هر گرم (CFU/g) به ازای هر پرنده به آب آشامیدنی پرندگان اضافه شدند. در طول آزمایش، تیمارهای شاهد منفی و شاهد مثبت آب آشامیدنی فاقد پروبیوتیک دریافت کردند.

اندازه‌گیری عملکرد رشد: به‌طور هفتگی و در روزهای ۷، ۱۴، ۲۱، ۲۸، ۳۵ و ۴۲ دوره پرورش، وزن‌کشی به‌صورت انفرادی بر روی تمام جوجه‌های هر گروه انجام و سپس میانگین افزایش وزن به‌صورت گروهی در دوره‌های مختلف بعد از شروع تنش گرمایی و مصرف پروبیوتیک شامل ۲۱ تا ۲۸، ۲۹ تا ۳۵ و ۳۶ تا ۴۲ روزگی محاسبه شد. در دوره‌های مختلف آزمایش، در هر گروه میانگین میزان مصرف خوراک به‌صورت روزانه و براساس هر تکرار ثبت گردید. ضریب تبدیل خوراک از تقسیم خوراک مصرفی بر افزایش وزن جوجه‌ها برای هر دوره محاسبه شد. در طول مطالعه، به‌طور روزانه وضعیت عمومی پرندگان ارزیابی و تلفات برای هر گروه جداگانه ثبت شد.

کشتار و نمونه‌گیری: در انتهای مطالعه (۴۲ روزگی) ۴ قطعه جوجه گوشتی به‌طور تصادفی از هر گروه انتخاب، وزن‌کشی و سپس به شیوه انسانی و با روش قطع نخاعی گردنی (Cervical dislocation) کشتار شدند. بعد از کشتار و تخلیه دستگاه گوارش، عضله سینه و چربی شکمی از لاشه جوجه‌ها جدا و برای ادامه آزمایش‌ها به آزمایشگاه منتقل شد.

اندازه‌گیری شاخص‌های کیفیت گوشت مرغ: شاخص‌های حسی نمونه‌های گوشت سینه مرغ (رنگ، بو، بافت و ظاهر کلی) توسط ۳۰ ارزیاب (مشتمل بر زن و مرد در بازه سنی ۲۰ تا ۴۵ سال) انجام شد. هریک از نمونه‌ها در ظروف سفید رنگ به‌صورت تصادفی کددهی شدند و از ارزیاب‌ها خواسته شد براساس پرسش‌نامه‌های از پیش آماده‌شده مشابه مطالعه Berizi و همکاران در سال ۲۰۱۷، برای هر شاخص حسی به هریک از نمونه‌ها در ۴ سطح (۱: غیرقابل‌قبول، ۲: ضعیف، ۳: قابل‌قبول و ۴: خوب) نمره دهند (۲۰). ویژگی‌های شیمیایی نمونه‌های گوشت مرغ، شامل میزان چربی خام (روش سوکسله)، محتوای ماده خشک و خاکستر (روش وزن‌سنجی) و pH (با استفاده از pH متر) اندازه‌گیری شدند (۲۱).

جدول ۱. ترکیب و آنالیز شیمیایی جیره پایه در دوره‌های مختلف آزمایش.

ترکیب و آنالیز شیمیایی جیره پایه		مقادیر (درصد)		
		آغازین (۰ تا ۱۰ روزگی)	رشد (۱۱ تا ۲۵ روزگی)	پایانی (۲۶ تا ۴۲ روزگی)
اجزای جیره (گرم / ۱۰۰ گرم خوراک)	ذرت	۵۳/۴۰	۵۸/۰۰	۶۱/۳۰
	کنجاله سویا (۴۴ درصد پروتئین خام)	۳۹/۰۰	۳۵/۰۰	۳۱/۰۰
	روغن آفتاب‌گردان	۳/۰۰	۳/۰۰	۴/۰۰
	دی‌کلسیم فسفات	۱/۷۰	۱/۵۰	۱/۳۰
	کربنات کلسیم ۳۸ درصد	۱/۷۰	۱/۴۰	۱/۳۰
	نمک	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰
	دی ـ ال ـ متیونین	۰/۲۰	۰/۱۵	۰/۱۵
	ال ـ لیزین هیدروکلرید	۰/۲۰	۰/۱۵	۰/۱۵
	مکمل معدنی*	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
	مکمل ویتامین**	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
آنالیز شیمیایی جیره	انرژی قابل‌متابولیسم (کیلوکالری/کیلوگرم)	۲۹۰۰	۳۰۰۰	۳۱۰۰
	پروتئین خام (درصد)	۲۲/۰۰	۲۰/۵۰	۱۹/۰۰
	لیزین (درصد)	۱/۳۱	۱/۲۵	۱/۱۴
	کلسیم (درصد)	۱/۰۵	۰/۹۰	۰/۸۰
	ترئونین (درصد)	۰/۸۵	۰/۸۱	۰/۷۵
	متیونین (درصد)	۰/۵۴	۰/۴۸	۰/۴۴
	فسفر در دسترس (درصد)	۰/۵۰	۰/۴۵	۰/۴۰
	تریپتوفان (درصد)	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۲۰
	سدیم (درصد)	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۹

* هر کیلوگرم جیره حاوی مکمل معدنی حاوی: ۸۰ میلی‌گرم سلنیوم، ۱۰۰ میلی‌گرم کبالت، ۳۹ میلی‌گرم ید، ۴ گرم مس، ۳۳ گرم روی، ۳۹ گرم منگنز می‌باشد.

** هر کیلوگرم جیره حاوی مکمل ویتامین حاوی: ۳۶۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین A، ۸۰۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین D3، ۷۲۰۰ واحد بین المللی ویتامین E، ۸۰ میلی‌گرم ویتامین K3، ۷۰ میلی‌گرم ویتامین B1، ۲۰۰ میلی‌گرم ویتامین B2، ۳۰۰ میلی‌گرم ویتامین B3، ۱۱/۹ گرم ویتامین B5، ۱/۲ گرم ویتامین B6، ۶ میلی‌گرم ویتامین B12 می‌باشد.

ظرفیت نگهداری آب (WHC) گوشت سینه با استفاده از روش فشاری مشابه روش Abbasvali و همکاران در سال ۲۰۱۲ ارزیابی شد (۲۲). به‌طور خلاصه ۰/۳ گرم از نمونه گوشت بر روی کاغذ صافی واتمن شماره ۲ بین دو صفحه شیشه‌ای قرار داده شد و به‌مدت ۲۰ دقیقه تحت فشار وزنه ۱ کیلوگرمی قرار گرفت. پس از گذشت زمان موردنظر و برداشت وزنه، از کاغذهای صافی عکس‌برداری شد و مساحت نواحی گوشت فشرده‌شده و رطوبت پخش‌شده با نرم‌افزار Adobe Photoshop® (CS6، نسخه ۲۴/۷) اندازه‌گیری و میزان WHC به‌صورت نسبت مساحت آب خارج‌شده به مساحت گوشت پرس‌شده بیان شد.

به‌منظور بررسی شاخص‌های بافتی نمونه‌های گوشت (سختی، پیوستگی، چسبندگی، خاصیت ارتجاعی، خاصیت جوشی و صمغی) از روش ارزیابی نیم‌رخ بافتی (TPA) توسط دستگاه بافت‌سنج (مدل CT34500، Brookfield، آمریکا) و پروب استوانه‌ای TA44 (قطر ۴ میلی‌متر) در دمای ۱±۲۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. فشرده‌سازی در دو مرحله تا ۵۰ درصد ارتفاع هریک از نمونه‌ها انجام شد. سرعت حرکت رفت‌وبرگشت پروب ۱ میلی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شد (۲۳). داده‌های مربوط به شاخص‌های مختلف بافت‌سنجی توسط دستگاه بافت‌سنج برای هر نمونه گوشت سینه محاسبه و ارائه شد.

به‌منظور بررسی شاخص‌های رنگ گوشت (L^*، a^* و b^*)، هریک از نمونه‌های گوشت مرغ در یک جعبه با رنگ داخلی سفید به ابعاد ۵۰×۵۰×۶۰ سانتی‌متر مجهز به منبع نوری ۲۰ وات قرار گرفتند. از سطح هریک از نمونه‌ها توسط دوربین (DCRSR65E/SR85E، توکیو، ژاپن) با فاصله ۳۰ سانتی‌متری از نمونه، عکس‌برداری شد. زاویه بین لنز دوربین و سطح نمونه و همچنین زاویه منبع نوری و سطح نمونه به‌ترتیب ۹۰ و ۲۰ درجه تعیین شدند. پس از انتقال تصاویر گرفته‌شده به سیستم کامپیوتر، کل سطح هر نمونه انتخاب و شاخص‌های L^* (روشنایی: ۱۰۰ بیانگر سفید و ۰ بیانگر سیاه)، a^* (قرمزی ـ سبزی: مثبت بیانگر قرمز و منفی بیانگر سبز) و b^* (زردی ـ آبی: مثبت بیانگر زردی و منفی بیانگر آبی) با استفاده از نرم‌افزار Adobe Photoshop® (Adobe Systems Inc., San Jose, CA, USA، نسخه ۲۴/۷) تعیین و ثبت گردید (۲۲).

جدول ۲. تأثیر سه نوع پروبیوتیک مختلف بر عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی مزمن.

صفات عملکردی/ گروه‌های آزمایش *		میانگین±انحراف‌معیار					P
		شاهد منفی	شاهد مثبت	HSBacil	HSLAB	HSMix	
خوراک مصرفی (گرم/پرنده)	۲۱ تا ۲۸ روزگی	۷۶۷/۳۳±۳/۲۱^{a}	۴۷۸/۷۷±۴/۹۳^{c}	۵۰۳/۲۷±۲/۲۱^{b}	۵۰۳/۴۷±۱/۹۷^{b}	۵۰۵/۱۳±۳/۴۱^{b}	<۰/۰۰۱
	۲۹ تا ۳۵ روزگی	۹۸۰/۴۰±۱/۶۰^{a}	۸۳۵/۱۲±۲/۵۱^{d}	۸۵۶/۹۳±۲/۲۷^{b}	۸۵۸/۸۳±۲/۲۵^{b}	۸۴۶/۱۳±۱/۶۸^{c}	<۰/۰۰۱
	۳۶ تا ۴۲ روزگی	۹۷۶/۴۳±۱۷/۵۹^{a}	۷۱۰/۹۰±۳/۹۸^{c}	۹۳۴/۹۳±۴/۷۱^{b}	۹۳۹/۹۳±۱/۲۰^{b}	۹۴۷/۲۰±۱/۳۲^{b}	<۰/۰۰۱
افزایش وزن (گرم/پرنده)	۲۱ تا ۲۸ روزگی	۳۷۵/۴۸±۱۰۱/۹۳^{a}	۲۴۹/۵۶±۹۵/۴۱^{b}	۲۹۷/۶۳±۱۰۹/۵۱^{b}	۲۵۷/۰۶±۹۹/۶۱^{b}	۲۷۰/۹۶±۱۱۶/۰۲^{b}	۰/۰۰۱
	۲۹ تا ۳۵ روزگی	۷۸۳/۱۰±۱۲۹/۴۲^{a}	۵۵۶/۳۶±۱۰۹/۹۹^{c}	۶۸۶/۱۰±۱۵۶/۸۸^{b}	۷۴۶/۷۰±۱۴۰/۹۲^{a}	۷۱۷/۶۷±۱۲۴/۵۰^{a}	<۰/۰۰۱
	۳۶ تا ۴۲ روزگی	۶۹۷/۵۵±۱۴۳/۹۲^{a}	۳۰۹/۴۰±۲۰۱/۳۱^{b}	۵۱۷/۹۶±۱۹۸/۴۷^{b}	۶۳۵/۰۱±۱۹۳/۶۵^{a}	۶۴۵/۷۰±۱۹۸/۴۵^{a}	<۰/۰۰۱
ضریب تبدیل خوراک (گرم: گرم)	۲۱ تا ۲۸ روزگی	۲/۰۵±۰/۰۶^{a}	۱/۹۲±۰/۰۵^{b}	۱/۶۹±۰/۰۲^{d}	۱/۹۶±۰/۰۳^{b}	۱/۸۵±۰/۰۱^{c}	۰/۰۰۳
	۲۹ تا ۳۵ روزگی	۱/۲۵±۰/۰۱^{b}	۱/۵۰±۰/۰۱^{a}	۱/۲۵±۰/۰۱^{b}	۱/۱۵±۰/۰۱^{d}	۱/۱۹±۰/۰۱^{c}	<۰/۰۰۱
	۳۶ تا ۴۲ روزگی	۱/۴۰±۰/۰۱^{d}	۲/۳۰±۰/۰۱^{a}	۱/۸۱±۰/۰۱^{b}	۱/۴۸±۰/۰۱^{c}	۱/۴۷±۰/۰۱^{c}	<۰/۰۰۱

* شاهد منفی: پرورش‌یافته در دمای طبیعی و دریافت‌کننده آب آشامیدنی فاقد پروبیوتیک، شاهد مثبت: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده آب آشامیدنی فاقد پروبیوتیک، HSBacil: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده پروبیوتیک *باسیلوس*، HSLAB: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس*، HSMix: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده ترکیب پروبیوتیک مخلوط *باسیلوس* و *لاکتوباسیلوس*. ^{a,b,c} در هر ردیف، حروف غیرمشابه بیان‌گر تفاوت آماری معنی‌دار بین گروه‌ها است ($P<۰/۰۵$).

جدول ۳. تأثیر سه نوع پروبیوتیک مختلف بر میزان چربی خام، ماده خشک، خاکستر و pH در عضله سینه جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی مزمن.

شاخص/ گروه‌های آزمایش *	میانگین±انحراف‌معیار					P
	شاهد منفی	شاهد مثبت	HSBacil	HSLAB	HSMix	
pH	۵/۸۰±۰/۳۱	۵/۶۷±۰/۱۳	۵/۸۳±۰/۱۷	۵/۷۸±۰/۱۲	۵/۹۱±۰/۲۰	۰/۳۵۸
ماده خشک (درصد)	۲۳/۹۰±۰/۴۷	۲۴/۷۶±۱/۳۷	۲۳/۹۹±۰/۷۵	۲۳/۹۱±۰/۱۵	۲۳/۸۱±۰/۷۱	۰/۵۶۳
خاکستر (درصد)	۱/۱۴±۰/۰۵	۱/۱۰±۰/۳۲	۱/۱۰±۰/۰۴	۱/۱۰±۰/۰۷	۱/۱۲±۰/۰۳	۰/۸۰۱
چربی خام (درصد)	۲/۶۳±۰/۳۶	۲/۸۲±۰/۲۹	۳/۱۳±۰/۳۰	۲/۸۲±۰/۲۳	۲/۷۷±۰/۳۶	۰/۴۴۲

* شاهد منفی: پرورش‌یافته در دمای طبیعی و دریافت‌کننده آب آشامیدنی فاقد پروبیوتیک، شاهد مثبت: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده آب آشامیدنی فاقد پروبیوتیک، HSBacil: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده پروبیوتیک *باسیلوس*، HSLAB: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس*، HSMix: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده ترکیب پروبیوتیک مخلوط *باسیلوس* و *لاکتوباسیلوس*. در هر ردیف، حروف غیرمشابه بیان‌گر تفاوت آماری معنی‌دار بین گروه‌ها است ($P<۰/۰۵$)

اندازه‌گیری شاخص پراکسید در چربی شکمی: بعد از کشتار پرندگان، چربی شکمی به‌طور کامل از محوطه شکمی پرندگان کشتارشده جدا و جهت ارزیابی به آزمایشگاه منتقل شد. عدد پراکسید، به‌عنوان شاخص اکسیداسیون چربی‌ها، با روش تیتراسیون براساس روش AOAC (۲۱) و مشابه مطالعه AbdulHammed و همکاران در سال ۲۰۲۰ (۲۴)، بر روی چربی‌های جمع‌آوری‌شده اندازه‌گیری شد.

واکاوی آماری داده‌ها: طرح آماری مورداستفاده برای مطالعه حاضر کاملاً تصادفی بود. در مطالعه حاضر، برای ارزیابی آماری میزان مصرف خوراک، افزایش وزن و ضریب تبدیل خوراک، تکرار در هر گروه (سه تکرار در هر گروه) به‌عنوان واحد آماری در نظر گرفته شد. برای تحلیل آماری شاخص‌های مختلف در گوشت و عدد پراکسید در هر گروه، پرنده (۴ پرنده در هر گروه) به‌عنوان واحد آماری استفاده شد. ابتدا نرمال بودن داده‌ها در هر پارامتر با آزمون کولموگروف اسمیرنف (Kolmogorov-Smirnov) ارزیابی شد. سپس داده‌ها با نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۰، شرکت IBM، آمریکا) و با استفاده از رویه ANOVA تجزیه آماری شدند. سپس میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن مقایسه شد. مقایسه داده‌های حسی بین گروه‌های مختلف با آزمون غیرپارامتری آزمون من‌ویتنی‌یو (MannWhitney U) انجام شد. داده‌ها به‌صورت میانگین و انحراف‌معیار بیان شده است و سطح معنی‌داری در حد کمتر از ۰/۰۵ ($P<۰/۰۵$) در نظر گرفته شد. تمام نمودارها با استفاده از نرم‌افزار GraphPad Prism (نسخه ۶، Insight Partners، آمریکا) ترسیم شده‌اند.

نتایج

عملکرد رشد: اثر سه ترکیب پروبیوتیک مختلف بر عملکرد رشد در جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی مزمن در جدول ۲ نشان داده شده است. در تمام دوره‌های مطالعه (۲۱ تا ۲۸، ۲۹ تا ۳۵، ۳۶ تا ۴۲) جوجه‌های گوشتی مربوط به تیمارهای در معرض تنش گرمایی (شاهد مثبت، HSBacil، HSLAB و HSMix) نسبت به پرندگان تیمار شاهد منفی (پرورش‌یافته در دمای محیطی طبیعی) کاهش معنی‌داری در میزان مصرف خوراک نشان دادند و کمترین میزان مصرف خوراک در پرندگان تیمار شاهد مثبت (تحت تنش گرمایی و بدون دریافت پروبیوتیک) مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). پرندگان مربوط به تیمارهای دریافت‌کننده پروبیوتیک (HSBacil، HSLAB و HSMix) میانگین مصرف خوراک بالاتری نسبت به پرندگان تیمار شاهد مثبت داشتند ($P<۰/۰۵$). در هفته‌های مختلف مطالعه، جوجه‌های تیمار شاهد مثبت در مقایسه با پرندگان گروه شاهد منفی، میانگین افزایش وزن کمتری داشتند ($P<۰/۰۵$). پرندگان تیمارهای HSLAB و HSMix، در دوره‌های ۲۹ تا ۳۵ و ۳۶ تا ۴۲ روزگی، میانگین افزایش وزن بالاتری در مقایسه با پرندگان گروه شاهد مثبت نشان دادند ($P<۰/۰۵$). در دوره‌های ۲۸ تا ۳۵ و ۳۶ تا ۴۲ روزگی، پرندگان مربوط به گروه‌های HSLAB و HSMix ازنظر افزایش وزن با پرندگان گروه شاهد منفی تفاوت معنی‌داری نداشتند. در ۳۶ تا ۴۲ روزگی، ضریب تبدیل خوراک در پرندگان مربوط به تیمارهای تحت تنش گرمایی بالاتر از پرندگان تیمار شاهد منفی بود ($P<۰/۰۵$). در دوره‌های ۲۹ تا ۳۵ و ۳۶ تا ۴۲ روزگی، در بین تیمارهای مختلف موردآزمایش به‌طور معنی‌داری بالاترین ضریب تبدیل خوراک در پرندگان شاهد مثبت مشاهده شد (جدول ۲).

شاخص‌های شیمیایی عضله سینه: نتایج بررسی تأثیر سه ترکیب پروبیوتیکی مختلف بر میزان چربی خام، خاکستر، pH و محتوای ماده خشک عضله سینه در جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی مزمن در جدول ۳ بیان شده است. عضله سینه جوجه‌های گروه شاهد منفی در مقایسه با جوجه‌های چهار گروه تحت تنش گرمایی دارای میزان خاکستر بالاتر و چربی خام کمتری بود، اگرچه این تفاوت ازنظر آماری

معنی‌دار نبود. بین گروه‌های مختلف آزمایش ازنظر میزان چربی خام، خاکستر، محتوای ماده خشک و pH در گوشت سینه پرندگان تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

شاخص‌های بافت‌سنجی عضله سینه: نتایج مربوط به اثر دریافت سه نوع ترکیب پروبیوتیکی مختلف بر شاخص‌های بافت‌سنجی عضله سینه در جوجه‌های گوشتی در معرض تنش گرمایی مزمن در جدول ۴ نشان داده شده است. تنش گرمایی و دریافت پروبیوتیک، هیچ‌کدام تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های سختی (Hardness)، پیوستگی (Cohesiveness)، خاصیت ارتجاعی (Springiness)، خاصیت جوشی (Chewiness) و صمغی بودن (Gumminess) عضله سینه نداشتند. از بین شاخص‌های مختلف بافت‌سنجی فقط شاخص چسبندگی (Adhesiveness) بین پرندگان تیمار شاهد منفی با پرندگان مربوط به تیمارهای تحت تنش گرمایی دارای اختلاف معنی‌دار بود و عضله سینه در پرندگان تیمار شاهد منفی دارای بالاترین چسبندگی بین تیمارهای مختلف آزمایش بود ($P<۰/۰۵$)، اما بین سایر تیمارهای موردآزمایش ازنظر شاخص چسبندگی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

جدول ۴. تأثیر سه نوع پروبیوتیک مختلف بر شاخص‌های بافت‌سنجی در عضله سینه جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی مزمن.

شاخص/ گروه‌های آزمایش*	میانگین±انحراف‌معیار					P
	شاهد منفی	شاهد مثبت	HSBacil	HSLAB	HSMix	
سختی (نیوتن)	۱۴/۱۶±۳/۳۰	۱۹/۵۴±۶/۶۱	۱۶/۷۰±۵/۶۵	۱۴/۷۶±۷/۲۷	۲۳/۹۸±۱۷/۱۰	۰/۶۹۴
پیوستگی (نسبت)	۰/۴۲±۰/۰۵	۰/۵۳±۰/۲۱	۰/۴۷±۰/۶۷	۰/۳۹±۰/۱۳	۰/۴۷±۰/۸۰	۰/۶۷۵
چسبندگی (میلی‌ژول)	۰/۷۱±۰/۲۶^{a}	۰/۴۴±۰/۰۵^{b}	۰/۴۲±۰/۱۱^{b}	۰/۳۷±۰/۱۳^{b}	۰/۴۲±۰/۱۰^{b}	۰/۰۴۶
خاصیت ارتجاعی (میلی‌متر)	۹/۵۸±۱/۰۸	۱۰/۴۸±۱/۷۷	۸/۸۶±۰/۲۷	۸/۹۲±۱/۱۸	۹/۱۹±۱/۱۸	۰/۴۸۶
خاصیت جوشی (میلی‌ژول)	۵۸/۲۴±۲۳/۱۲	۱۲۷/۲۳±۱۰۰/۷۸	۶۷/۷۴±۲۱/۳۲	۵۳/۴۳±۴۰/۷۹	۱۰۵/۷۲±۷۴/۶۹	۰/۵۲۳
صمغی بودن (گرم نیرو)	۶۰۹/۰۳±۲۰۳/۴۵	۱۱۵۱/۰۳±۷۶۹/۸۲	۷۷۸/۲۷±۲۳۴/۵۵	۵۸۴/۷۳±۳۷۰/۰۰	۱۱۶۷/۷۰±۸۵۸/۳۰	۰/۵۶۲

* شاهد منفی: پرورش‌یافته در دمای طبیعی و دریافت‌کننده آب آشامیدنی فاقد پروبیوتیک، شاهد مثبت: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده آب آشامیدنی فاقد پروبیوتیک، HSBacil: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده پروبیوتیک *باسیلوس*، HSLAB: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس*، HSMix: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده ترکیب پروبیوتیک مخلوط *باسیلوس* و *لاکتوباسیلوس*. ^{a,b,c} در هر ردیف، حروف غیرمشابه بیان‌گر تفاوت آماری معنی‌دار بین گروه‌ها است ($P<۰/۰۵$).

جدول ۵. تأثیر سه نوع پروبیوتیک مختلف بر شاخص‌های حسی در عضله سینه جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی مزمن.

شاخص/ گروه‌های آزمایش*	میانگین±انحراف‌معیار					P
	شاهد منفی	شاهد مثبت	HSBacil	HSLAB	HSMix	
رنگ	۳/۱۳±۰/۵۰^{a}	۲/۷۳±۰/۶۹^{b}	۳/۱۹±۰/۷۹^{a}	۲/۹۷±۰/۳۹^{b}	۳/۷۷±۰/۵۰^{c}	<۰/۰۰۱
بو	۳/۶۶±۰/۶۰^{a}	۳/۰۳±۰/۶۷^{b}	۳/۳۵±۰/۶۶^{c}	۳/۵۱±۰/۵۱^{a}	۳/۵۵±۰/۶۲^{a}	۰/۰۰۱
بافت	۳/۷۸±۰/۴۲^{a}	۲/۹۳±۰/۷۰^{b}	۳/۴۸±۰/۵۷^{b}	۳/۴۵±۰/۹۰^{a}	۳/۵۲±۰/۸۵^{a}	<۰/۰۰۱
ظاهر کلی	۳/۴۱±۰/۵۶^{a}	۲/۶۰±۰/۵۶^{b}	۳/۱۶±۰/۵۸^{c}	۳/۰۳±۰/۶۸^{c}	۳/۳۵±۰/۸۴^{a}	<۰/۰۰۱

* شاهد منفی: پرورش‌یافته در دمای طبیعی و دریافت‌کننده آب آشامیدنی فاقد پروبیوتیک، شاهد مثبت: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده آب آشامیدنی فاقد پروبیوتیک، HSBacil: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده پروبیوتیک *باسیلوس*، HSLAB: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس*، HSMix: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده ترکیب پروبیوتیک مخلوط *باسیلوس* و *لاکتوباسیلوس*. ^{a,b,c} در هر ردیف، حروف غیرمشابه بیان‌گر تفاوت آماری معنی‌دار بین گروه‌ها است ($P<۰/۰۵$).

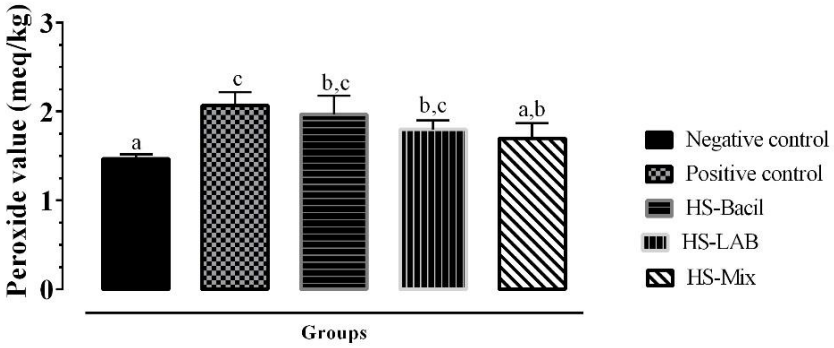
شاخص‌های حسی عضله سینه: نتایج مرتبط با تأثیر پروبیوتیک بر شاخص‌های حسی عضله سینه در جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی مزمن در جدول ۵ نشان داده شده است. در مطالعه حاضر، امتیاز عضله سینه در پرندگان تیمار شاهد مثبت ازنظر تمام شاخص‌های رنگ، بو، بافت و ظاهر کلی به‌طور معنی‌داری کمتر از پرندگان تیمار شاهد منفی بود ($P<۰/۰۵$). همان‌طور که داده‌های جدول ۵ نشان می‌دهد، شاخص‌های بافت و ظاهر کلی عضله سینه در پرندگان گروه‌های HSBacil، HSLAB و HSMix در مقایسه با پرندگان گروه شاهد مثبت دارای مقادیر بالاتری بود ($P<۰/۰۵$). علاوه‌براین، شاخص بو نیز در عضله سینه در پرندگان تیمارهای HSLAB و HSMix در مقایسه با پرندگان گروه شاهد مثبت دارای مقادیر بالاتری بود ($P<۰/۰۵$). در بین تیمارهای دریافت‌کننده پروبیوتیک، بالاترین مقادیر برای شاخص‌های رنگ، بو، بافت و ظاهر کلی عضله سینه در پرندگان تیمار HSMix مشاهده شد. همچنین در مطالعه حاضر در شاخص‌های حسی عضله سینه (شامل بو، بافت و ظاهر کلی) بین پرندگان در تیمارهای HSMix و پرندگان تیمار شاهد منفی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

شاخص‌های رنگ‌سنجی عضله سینه: نتایج تأثیر سه ترکیب پروبیوتیکی مختلف بر شاخص‌های رنگ‌سنجی (شاخص‌های فیزیکی رنگ) در عضله سینه جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی مزمن در جدول ۶ نشان داده شده است. در مطالعه حاضر در هیچ‌کدام از شاخص‌های رنگ‌سنجی بین تیمارهای مختلف هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

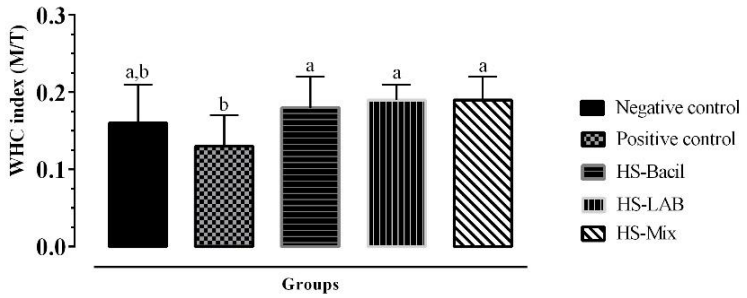
جدول ۶. تأثیر سه نوع پروبیوتیک مختلف بر شاخص‌های فیزیکی رنگ در عضله سینه جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی مزمن.

شاخص/ گروه‌های آزمایش *	میانگین±انحراف‌معیار					P
	شاهد منفی	شاهد مثبت	HSBacil	HSLAB	HSMix	
روشنایی (L)	۵۱/۶۷±۵/۱۳	۵۴/۰۰±۵/۵۷	۴۸/۳۳±۴/۱۶	۵۲/۶۷±۴/۹۳	۴۶/۶۷±۲/۳۰	۰/۵۴۲
قرمزی سبزی (a)	۲۵/۰۰±۳/۵۱	۲۳/۳۳±۳/۵۱	۲۶/۶۷±۱/۱۵	۲۴/۰۰±۱/۰۰	۲۷/۳۳±۱/۱۵	۰/۷۶۵
زردی آبی (b)	۲۱/۰۰±۴/۵۸	۲۳/۶۷±۱/۱۵	۲۰/۶۷±۷/۰۹	۲۴/۳۳±۳/۲۱	۱۹/۰۰±۳/۰۰	۰/۳۴۹

* شاهد منفی: پرورش‌یافته در دمای طبیعی و دریافت‌کننده آب آشامیدنی فاقد پروبیوتیک، شاهد مثبت: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده آب آشامیدنی فاقد پروبیوتیک، HSBacil: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده پروبیوتیک *باسیلوس*، HSLAB: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس*، HSMix: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده ترکیب پروبیوتیک مخلوط *باسیلوس* و *لاکتوباسیلوس*. ^{a,b,c} در هر ردیف، حروف غیرمشابه بیان‌گر تفاوت آماری معنی‌دار بین گروه‌ها است ($P<۰/۰۵$).



تصویر ۱. تأثیر سه ترکیب پروبیوتیکی مختلف بر عدد پراکسید در چربی شکمی جوجه‌های گوشتی ۴۲ روزه تحت تنش گرمایی مزمن. شاهد منفی: جوجه‌های پرورش‌یافته در دمای طبیعی و دریافت‌کننده آب آشامیدنی فاقد پروبیوتیک، شاهد مثبت: جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده آب آشامیدنی فاقد پروبیوتیک، HSBacil: جوجه‌های تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده پروبیوتیک *باسیلوس*، HSLAB: جوجه‌های تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس*، HSMix: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده مخلوط پروبیوتیک‌های *باسیلوس* و *لاکتوباسیلوس*. حروف غیرمشابه بیان‌گر تفاوت آماری معنی‌دار بین گروه‌ها است ($P<۰/۰۵$).



تصویر ۲. تأثیر سه ترکیب پروبیوتیکی مختلف بر ظرفیت نگهداری آب (WHC) در عضله سینه جوجه‌های گوشتی ۴۲ روزه تحت تنش گرمایی مزمن. شاهد منفی: جوجه‌های پرورش‌یافته در دمای طبیعی و دریافت‌کننده آب آشامیدنی فاقد پروبیوتیک، شاهد مثبت: جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده آب آشامیدنی فاقد پروبیوتیک، HSBacil: جوجه‌های تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده پروبیوتیک باسیلوس، HSLAB: جوجه‌های تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده پروبیوتیک لاکتوباسیلوس، HSMix: تحت تنش گرمایی و دریافت‌کننده مخلوط پروبیوتیک‌های باسیلوس و لاکتوباسیلوس. حروف غیرمشابه بیان‌گر تفاوت آماری معنی‌دار بین گروه‌ها است ($P<۰/۰۵$).

شاخص عدد پراکسید در چربی شکمی: نتایج تأثیر دریافت سه ترکیب پروبیوتیکی مختلف بر عدد پراکسید در چربی شکمی جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی مزمن در تصویر ۱ نشان داده شده است. پرندگان تیمار شاهد مثبت به‌طور معنی‌دار دارای عدد پراکسید بالاتری در چربی شکمی در مقایسه با پرندگان تیمار شاهد منفی بودند ($P<۰/۰۵$). بین تیمارهای دریافت‌کننده پروبیوتیک ازنظر عدد پراکسید تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. عدد پراکسید در جوجه‌های تیمار HSMix به‌طور معنی‌داری از پرندگان تیمار شاهد مثبت کمتر و در سمت مقابل، فاقد تفاوت معنی‌دار با پرندگان تیمار شاهد منفی بود. در بین تیمارهای موردمطالعه، به‌طور معنی‌داری، کمترین عدد پراکسید در پرندگان تیمارهای شاهد منفی و HSMix و بیشترین عدد پراکسید در پرندگان تیمارهای شاهد مثبت، HSBacil و HSLAB بود.

ظرفیت نگهداری آب عضله سینه: نتایج تأثیر سه ترکیب پروبیوتیکی مختلف بر نسبت مساحت سطح آب خارج‌شده به مساحت سطح گوشت پرس‌شده (به‌عنوان شاخص نماینده WHC) در عضله سینه جوجه‌های گوشتی گروه‌های موردمطالعه در تصویر ۲ نشان داده شده است. پرندگان مربوط به تیمارهای دریافت‌کننده پروبیوتیک به‌طور معنی‌دار دارای WHC بالاتری در مقایسه با پرندگان تیمار شاهد مثبت بودند ($P<۰/۰۵$). اختلاف معنی‌داری ازنظر فاکتور WHC بین سه گروه دریافت‌کننده پروبیوتیک مشاهده نشد.

بحث

تنش گرمایی یکی از چالش‌برانگیزترین مشکلات موجود در پرندگان پرورش‌یافته در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری است و به افت عملکرد رشد و کیفیت گوشت در جوجه‌های گوشتی منجر می‌شود (۴). تنش گرمایی در جوجه‌های گوشتی می‌تواند بر بافت، WHC و طعم گوشت تأثیر منفی بگذارد و همچنین اکسیداسیون چربی‌های بدن را افزایش دهد (۵، ۸). پروبیوتیک‌ها اثرات مفیدی بر سلامت روده و عملکرد سیستم ایمنی دارند و مقاومت جوجه‌های گوشتی را در برابر تنش‌های وارده بهبود می‌بخشند (۱۰).

در مطالعه حاضر، در تمام دوره‌های مطالعه، همه گروه‌های در معرض تنش گرمایی نسبت به گروه شاهد منفی به‌طور معنی‌داری مصرف خوراک کمتری نشان دادند ($P<۰/۰۵$) (جدول ۲). همان‌گونه که در جدول ۲ نشان داده شده است، تنش گرمایی به کاهش میزان افزایش وزن در جوجه‌های مربوط به تیمارهای شاهد مثبت و HSBacil در مقایسه با پرندگان تیمارهای HSLAB، HSMix و شاهد منفی در دوره‌های ۲۹ تا ۳۵ و ۳۶ تا ۴۲ روزگی منجر شد ($P<۰/۰۵$). همچنین در مطالعه حاضر، تنش گرمایی موجب افزایش ضریب تبدیل خوراک در گروه‌های تحت تنش گرمایی در مقایسه با گروه شاهد منفی شد ($P<۰/۰۵$). یافته‌های مطالعه حاضر بیان می‌کند تنش گرمایی مزمن یک چالش قابل‌توجه برای جوجه‌های گوشتی بوده و به کاهش واضحی در نرخ رشد و افزایش وزن پرنده منجر می‌شود، همان‌طور که در مطالعات و متون پیشین نیز مستند شده است (۵).

اثبات شده است تنش گرمایی به‌دلیل اختلال در عملکرد آنزیم‌های گوارشی، عدم تعادل محیط میکروبی روده، کاهش قابلیت هضم خوراک و جذب مواد مغذی در دستگاه گوارش، بر عملکرد رشد در جوجه‌های گوشتی تأثیر منفی می‌گذارد (۲۵). علاوه‌براین، کاهش سطح هورمون تیروئید در جوجه‌های گوشتی در معرض تنش گرمایی نیز می‌تواند به کاهش راندمان رشد منجر شود (۲۶). نتایج مطالعه

حاضر نشان داد افزودن پروبیوتیک به آب آشامیدنی پرندگان در تیمارهای HSBacil، HSLAB و HSMix در افزایش نرخ اشتها و مصرف خوراک در شرایط تنش گرمایی مزمن تأثیر معنی‌داری داشته است ($P<۰/۰۵$) (جدول ۲). همچنین نتایج مطالعه حاضر بیانگر تأثیر مثبت دریافت پروبیوتیک بر افزایش وزن بدن در جوجه‌های گوشتی در معرض تنش گرمایی بود. در دوره‌های مختلف، پرندگان تیمارهای دریافت‌کننده پروبیوتیک به‌طور معنی‌داری افزایش وزن بالاتری در مقایسه با پرندگان گروه شاهد مثبت نشان دادند. در دوره‌های ۲۸ تا ۳۵ و ۳۶ تا ۴۲ روزگی، جوجه‌های مربوط به گروه‌های HSLAB و HSMix ازنظر افزایش وزن تفاوت معنی‌داری با جوجه‌های گروه شاهد منفی نداشتند. همچنین در مطالعه حاضر، دریافت پروبیوتیک‌های *باسیلوس* و *لاکتوباسیلوس* به‌تنهایی و یا مخلوط سبب بهبود ضریب تبدیل خوراک در گروه‌های موردمطالعه در مقایسه با گروه شاهد مثبت شد ($P<۰/۰۵$) (جدول ۲).

همسو با نتایج مطالعه حاضر، Mullur و همکاران در سال ۲۰۱۴ و Sugiharto و همکاران در سال ۲۰۱۷ گزارش کردند پروبیوتیک‌ها با افزایش سطح پلاسمایی هورمون‌های T_3 و T_4، افزایش فعالیت آنزیم‌های گوارشی، افزایش طول پرزهای روده و بهبود قابلیت هضم مواد مغذی، به افزایش عملکرد رشد در پرندگان تحت تنش گرمایی منجر می‌شوند (۲۷، ۲۸). براساس نتایج مطالعه حاضر می‌توان بیان کرد هر سه ترکیب پروبیوتیک، به‌خصوص پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس* به‌تنهایی و یا در ترکیب با پروبیوتیک *باسیلوس*، تأثیر واضح و معنی‌داری بر بهبود افزایش وزن و ضریب تبدیل خوراک در پرندگان تحت تنش گرمایی مزمن داشتند.

عضله سینه در پرندگان تیمار شاهد مثبت در مقایسه با پرندگان تیمار شاهد منفی دارای میزان خاکستر پایین‌تر و چربی خام بیشتری بود، اگرچه این تفاوت ازنظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳). مشابه با نتایج مطالعه حاضر، AlAbdullatif و Azzam در سال ۲۰۲۳ نشان دادند استرس گرمایی تأثیر معنی‌داری بر چربی خام و ماده خشک گوشت سینه در جوجه گوشتی ندارد (۲۹). برخی از مطالعات پیشین، افزایش چربی خام عضله سینه را متعاقب تنش گرمایی مزمن در جوجه‌های گوشتی گزارش کردند و علت آن را کاهش آنزیم‌های لیپولیتیک، کاهش متابولیسم هوازی، افزایش گلیکولیز و اختلال در عملکرد میتوکندری‌ها بیان کرده‌اند (۳۰). در مطالعه حاضر، دریافت پروبیوتیک تأثیری بر خاکستر، چربی خام و ماده خشک عضله سینه جوجه‌ها نداشت و این یافته با نتایج مطالعه Zhou و همکاران در سال ۲۰۱۰ همخوانی کامل داشت (۳۱).

مطالعات دیگر معمولاً نتایج متفاوت و متنوعی را در این رابطه گزارش کرده‌اند (۳۲، ۳۳). تفاوت و تنوع در جمعیت آماری، شرایط آزمایش و یا نحوه القای تنش گرمایی بین مطالعات مختلف، می‌تواند چنین اختلافاتی را توجیه کند. مطالعه حاضر نشان داد تنش گرمایی pH عضله سینه را کاهش می‌دهد، اگرچه این اختلاف ازنظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳). اغلب مطالعات در این پیرامون، کاهش pH عضلات طیور، متعاقب تنش گرمایی را به‌دلیل افزایش ترشح کاتکول‌آمین‌ها، تسریع در تجزیه گلیکوژن و همچنین تولید مازاد اسید لاکتیک گزارش کرده‌اند (۳۴). مطالعه Zeferino و همکاران در سال ۲۰۱۶ نتیجه کاملاً متناقضی داشت. آن‌ها گزارش کردند به‌دلیل کاهش سطح گلوکز ناشی از شرایط تنش‌زا و متعاقباً کاهش ذخایر گلیکوژن پیش از کشتار، تنش گرمایی مزمن موجب افزایش pH گوشت می‌شود (۳۵). یافته‌های مطالعه حاضر همسو با نتایج مطالعات Hossain و همکاران در سال ۲۰۱۵ و Biswas و همکاران در سال ۲۰۲۳، تغییر معنی‌داری را متعاقب استفاده از پروبیوتیک‌ها بر pH گوشت جوجه‌ها نشان ندادند (۳۶، ۳۷). نتایج مطالعات مختلف نشان داده‌اند پروبیوتیک‌ها با تأثیر احتمالی بر میزبان متابولیسم گلیکولیز پس از مرگ و کاهش زمان موردنیاز برای رسیدن به محدوده pH نهایی در طول فرایند جمود نعشی، pH عضلات طیور گوشتی را افزایش می‌دهند (۱۵).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد تنش گرمایی یا دریافت پروبیوتیک فاقد اثر معنی‌دار بر شاخص‌های بافت‌سنجی گوشت است؛ از بین فاکتورها و شاخص‌های بافت‌سنجی، فقط خاصیت چسبندگی در عضله سینه بین برخی از گروه‌ها دارای اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۴). عضله سینه در پرندگان گروه شاهد منفی دارای بیشترین خاصیت چسبندگی در مقایسه با پرندگان مربوط به تمام گروه‌های تحت تنش گرمایی بود ($P<۰/۰۵$). اثرات تنش گرمایی روی شاخص‌های بافت‌سنجی در گوشت حیوانات بسته به نوع خاص گوشت می‌تواند متفاوت باشد. در مطالعات قبلی بیان شده است تنش گرمایی با دناتوره شدن پروتئین‌های گوشت و کاهش WHC گوشت باعث تغییر در میزان چسبندگی گوشت می‌شود (۳۸).

در مطالعه حاضر، امتیاز عضله سینه در پرندگان گروه شاهد مثبت ازنظر تمام شاخص‌های حسی (شامل رنگ، بو، بافت و ظاهر کلی) به‌طور معنی‌داری کمتر از پرندگان گروه شاهد منفی بود (جدول ۵). یافته‌های مطالعه حاضر نشان از تأثیر منفی تنش گرمایی بر تمام شاخص‌های حسی رنگ، بافت، بو و ظاهر کلی دارد که با نتایج مطالعات پیشین همخوانی دارد (۳۹). افزایش غلظت پلاسمایی

هورمون‌های تیروئیدی T_3 و T_4، اکسیداسیون لیپیدها، کاهش مصرف غذا و دریافت ناکافی ریزمغذی‌ها، اختلال در نفوذپذیری و عملکرد غشای سلول‌های عضلانی و متعاقباً افزایش گلیکولیز و پروتئولیز، از علل اثرات منفی تنش گرمایی بر شاخص‌های حسی گوشت پرندگان می‌باشند (۴۰). همان‌طور که داده‌های جدول ۵ نشان می‌دهد، بافت و ظاهر کلی گوشت سینه در پرندگان هر سه گروه دریافت‌کننده پروبیوتیک در مقایسه با پرندگان گروه شاهد مثبت بالاتر بود ($P<۰/۰۵$). شاخص حسی بو در عضله سینه در پرندگان مربوط به تیمارهای دریافت‌کننده پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس* (HSLAB) و دریافت‌کننده ترکیب پروبیوتیک‌های *لاکتوباسیلوس* و *باسیلوس* (HSMix) در مقایسه با پرندگان تیمار شاهد مثبت بالاتر بود ($P<۰/۰۵$). در مقادیر شاخص‌های حسی عضله سینه بین تیمار HSMix با تیمار شاهد منفی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد دریافت پروبیوتیک ازطریق آب آشامیدنی به کاهش اثرات منفی تنش گرمایی بر کیفیت گوشت و بهبود شاخص‌های حسی گوشت در جوجه‌های گوشتی منجر می‌شود و این نتایج با برخی مطالعات گذشته همخوانی دارد (۳۲). مطالعات متعدد اثبات کرده‌اند دریافت پروبیوتیک به افزایش نسبت اسیدهای چرب غیراشباع به اسیدهای چرب اشباع، افزایش تجمع رنگدانه گزانتوفیل (فیلوگزانتین) در بافت‌های عضلانی و افزایش WHC و جذب بیشتر ریزمغذی‌ها منجر شده و درنهایت موجب بهبود شاخص‌های حسی گوشت در پرندگان می‌شود (۴۱). براساس نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه حاضر می‌توان چنین برداشت کرد که افزودن پروبیوتیک به آب آشامیدنی جوجه‌های گوشتی تحت تنش گرمایی می‌تواند به‌عنوان یک راهکار تغذیه‌ای مناسب جهت بهبود شاخص‌های حسی گوشت مطرح باشد.

در مطالعه حاضر، هیچ‌یک از عوامل دریافت پروبیوتیک و تنش گرمایی تأثیری بر شاخص‌های فیزیکی رنگ (L^*a^*b) نداشتند (جدول ۶). مطالعات پیشین طیف متنوع و گسترده‌ای از یافته‌ها را گزارش کرده‌اند و غالباً افزایش یا کاهش را در شاخص‌های فیزیک رنگ، متعاقب دریافت پروبیوتیک یا مواجهه با تنش گرمایی ثبت کرده‌اند. مطالعه Cramer و همکاران در سال ۲۰۱۸ نشان دادند دریافت پروبیوتیک فاقد تأثیری معنی‌دار بر شاخص‌های رنگ‌سنجی عضله سینه در جوجه گوشتی است که با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی دارند (۱۵).

یافته‌های مطالعه حاضر حاکی از افزایش عدد پراکسید در بافت چربی جوجه‌های گروه شاهد مثبت در مقایسه با پرندگان گروه شاهد منفی است (تصویر ۱). تنش گرمایی به ایجاد تنش اکسایشی و اکسیداسیون چربی‌های موجود در بدن حیوانات منجر می‌شود. این اکسیداسیون می‌تواند به افزایش عدد پراکسید منجر شود که نشان‌دهنده وجود پراکسیدهای لیپیدی و سایر محصولات اکسایشی است. به‌طور مشابه، مطالعات Humam و همکاران در سال ۲۰۲۰ و Pečjak و همکاران در سال ۲۰۲۲ نشان دادند تنش گرمایی به بروز تنش اکسایشی، افزایش اکسیداسیون لیپیدها، افزایش عدد پراکسید و درنهایت افت شاخص‌های حسی گوشت منجر می‌شود (۴۲، ۴۳). بنابراین افت شاخص‌های حسی و افزایش عدد پراکسید در عضله سینه پرندگان تیمار شاهد مثبت بر اثرات منفی تنش گرمایی بر کیفیت گوشت دلالت دارد. علاوه‌براین، در مطالعه حاضر، بین گروه‌های مختلف دریافت‌کننده پروبیوتیک، جوجه‌های گوشتی دریافت‌کننده مخلوط پروبیوتیک‌های *باسیلوس* و *لاکتوباسیلوس* (گروه HSMix) به‌طور معنی‌داری دارای عدد پراکسید کمتری در مقایسه با جوجه‌های تیمار شاهد مثبت بودند ($P<۰/۰۵$) (تصویر ۱). علاوه‌براین، در مطالعه حاضر بین مقادیر شاخص پراکسید در پرندگان تیمارهای HSMix و شاهد منفی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بنابراین می‌توان چنین بیان کرد که پروبیوتیک حاوی ترکیب دو جنس مختلف سبب مهار تنش اکسایشی ناشی از تنش گرمایی و کاهش عدد پراکسید شده است. خواص آنتی‌اکسیدانی پروبیوتیک‌ها در جهت کاهش سطح اکسیداسیون در پرندگان مواجهه‌یافته با تنش گرمایی در مطالعات پیشین اثبات شده است. به‌طور مشابه، نتایج مطالعه Cramer و همکاران در سال ۲۰۱۸ نیز نشان داد مکمل‌های پروبیوتیکی به بهبود پایداری اکسایشی در گوشت و متعاقباً کاهش پراکسیداسیون چربی‌ها منجر می‌شوند (۱۵). همچنین Bai و همکاران در سال ۲۰۱۶ نشان دادند مصرف پروبیوتیک‌ها به کاهش سطح اکسیداسیون لیپیدها در پرندگان تحت تنش گرمایی منجر می‌شود (۴۴). نتایج مطالعه حاضر نشان داد دریافت پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس* و *باسیلوس* به‌صورت ترکیب دو جنس می‌تواند اثرات محافظتی در برابر تنش اکسایشی و اکسیداسیون لیپید در بدن پرندگان داشته باشد.

در مطالعه حاضر، عضله سینه در پرندگان گروه شاهد مثبت در مقایسه با گروه شاهد منفی دارای نسبت مساحت سطح آب خارج‌شده به مساحت سطح گوشت پرس‌شده (به‌عنوان شاخص نماینده WHC) کمتری بود، اگرچه این تفاوت ازنظر آماری معنی‌دار نبود. به‌طور مشابه، در مطالعه Cramer و همکاران در سال ۲۰۱۸ (۱۵) نشان داده شد تنش گرمایی تأثیر معنی‌داری بر WHC گوشت ندارد. برخلاف نتایج مطالعه حاضر، برخی از مطالعات پیشین تأثیر معنی‌دار تنش گرمایی بر اختلال در عملکرد پروتئین‌های گوشت و کاهش WHC را اثبات کرده‌اند (۴۵، ۴۶). در مطالعه حاضر، دریافت هر ۳ نوع پروبیوتیک، به‌طور مشابه به افزایش معنی‌داری در میزان

WHC عضله سینه در جوجه‌های گوشتی مربوط به تیمارهای HSBacil، HSLAB و HSMix در مقایسه با پرندگان تیمار شاهد مثبت منجر شد ($P<۰/۰۵$). یافته‌های مطالعه حاضر نشان واضح از تأثیر مثبت دریافت پروبیوتیک بر بهبود WHC گوشت داشت و این یافته با نتایج مطالعه AbouKassem و همکاران در سال ۲۰۲۱ همخوانی دارد (۴۷). تغییر در ترکیب اسیدهای چرب و تأثیر بر پروتئین‌های ماهیچه‌ای، از عوامل افزایش WHC، متعاقب مصرف پروبیوتیک‌ها است (۴۸). مطالعات پیشین نشان داده‌اند پروبیوتیک‌ها با افزایش WHC و بهبود ویژگی‌های حسی، کیفیت گوشت را بهبود می‌بخشند (۴۹).

نتیجه‌گیری نهایی: به‌طورکلی، نتایج مطالعه حاضر نشان داد تنش گرمایی مزمن سبب افت عملکرد رشد و شاخص‌های حسی عضله سینه در جوجه‌های گوشتی می‌شود. همچنین در مطالعه حاضر نشان داده شد تنش گرمایی می‌تواند عدد پراکسید در بافت چربی شکمی را افزایش دهد که این مسئله نمایانگر اثرات سوء تنش اکسایشی ناشی از تنش گرمایی است. علاوه‌براین، دریافت پروبیوتیک‌های *لاکتوباسیلوس و باسیلوس* به‌صورت تکی و یا در ترکیب با هم به بهبود عملکرد رشد، شاخص‌های حسی در عضله سینه و کاهش عدد پراکسید منجر می‌شود. می‌توان نتیجه گرفت دریافت پروبیوتیک در کنترل اثرات سوء تنش گرمایی در جوجه گوشتی اثرات مفیدی دارد و می‌توان از آن به‌عنوان یک افزودنی خوراکی مناسب در طول دوره پرورش در جوجه‌های گوشتی بهره برد.

سپاسگزاری

هزینه و امکانات مورداستفاده در مطالعه حاضر از محل اعتبارات دانشگاه شیراز در جهت حمایت از پایان‌نامه دانشجویان دانشکده دامپزشکی تأمین شده است و بدین‌وسیله نگارندگان مراتب قدردانی خود را اعلام می‌کنند. همچنین از واحد تحقیقات و توسعه شرکت پردیس رشد مهرگان بابت در اختیار قرار دادن پروبیوتیک‌های مختلف برای مطالعه حاضر تشکر می‌شود.

تعارض منافع

بین نویسندگان تعارض در منافع گزارش نشده است.

References

1. Nwaigwe CU, Ihedioha JI, Shoyinka SV, Nwaigwe CO. Evaluation of the hematological and clinical biochemical markers of stress in broiler chickens. Vet World. 2020;13(10):22942300. doi: 10.14202/vetworld.2020.22942300 PMID: 33281369

2. Ghasemi HA. Effects of dietary electrolyte balance and digestible threonine on intestinal morphology, microbial oopulation and digestibility of broilers subjected to heat stress conditions. J Vet Res. 2022;77(2):6378. doi: 10.22059/JVR.2022.344517.3271

3. Saeed M, Abbas G, Alagawany M, Kamboh AA, Abd ElHack ME, Khafaga AF, et al. Heat stress management in poultry farms: A comprehensive overview. J Therm Biol. 2019;84:414425. doi: 10.1016/j.jtherbio.2019.07.025 PMID: 31466781

4. Eidi M, Ghasemi H, Hajkhodadadi I, Moradi M. Effects of water supplementation a chelated trace mineral blend on growth performance, blood parameters, antioxidant status, and immune response of broilers under heat stress conditions. J Vet Res. 2022;76(4):408420. doi: 10.22059/jvr.2021.320249.3140

5. Awad EA, Najaa M, Zulaikha, ZA, Zulkifli I, Soleimani AF. Effects of heat stress on growth performance, selected physiological and immunological parameters, caecal microflora, and meat quality in two broiler strains. AJAS. 2020;33(5):778–787. doi: 10.5713/ajas.19.0208 PMID: 31480196

6. Nawaz AH, Amoah K, Leng QY, Zheng JH, Zhang WL, Zhang L. Poultry response to heat stress: its physiological, metabolic, and genetic implications on meat production and quality including strategies to improve broiler production in a warming world. Front Vet Sci. 2021;23(8):699081. doi: 10.3389/fvets.2021.699081 PMID: 34368284

7. Khajeh Bami M, Afsharmanesh M, Ebrahimnejad H. Effect of dietary *Bacillus coagulans* and different forms of zinc on performance, intestinal microbiota, carcass and meat quality of broiler chickens. Probiotics Antimicrob Proteins. 2020;12(2):461472. doi: 10.1007/s12602019095581 PMID: 31134523

8. Emami NK, Jung U, Voy B, Dridi S. Radical Response: Effects of heat stressinduced oxidative stress on lipid metabolism in the avian liver. Antioxidants. 2020;10(1):35. doi: 10.3390/antiox10010035

9. AbdelMoneim AME, Shehata AM, Khidr RE, Paswan VK, Ibrahim NS, ElGhoul AA, et al. Nutritional manipulation to combat heat stress in poultry a comprehensive review. J Therm Biol. 2021;98:102915. doi: 10.1016/j.jtherbio.2021.102915

10. Jha R, Das R, Oak S, Mishra P. Probiotics (directfed microbials) in poultry nutrition and their effects on nutrient utilization, growth and laying performance, and gut health: a systematic review. Animals (Basel). 2020;10(10):1863. doi: 10.3390/ani10101863 PMID: 33066185

11. Yaqoob MU, Wang G, Wang M. An updated review on probiotics as an alternative of antibiotics in poultry. A review. Anim Biosci. 2022;35(8):11091120. doi: 10.5713/ab.21.0485 PMID: 35073660

12. Song J, Xiao K, Ke YL, Jiao LF, Hu CH, Diao QY, et al. Effect of a probiotic mixture on intestinal microflora, morphology, and barrier integrity of broilers subjected to heat stress. Poult Sci. 2014;93(3):5818. doi: 10.3382/ps.20133455 PMID: 24604851

13. Khalid A, Khalid F, Mahreen N, Hussain SM, Shahzad MM, Khan S, et al. Effect of sporeforming probiotics on the poultry production: A review. Food Sci Anim Res. 2022;42(6):968980. doi: 10.5851/kosfa.2022.e41

14. Wang WC, Yan FF, Hu JY, Amen OA, Cheng HW. Supplementation of *Bacillus subtilis*based probiotic reduces heat stressrelated behaviors and inflammatory response in broiler chickens. J Animal Sci. 2018;96(5):1654–1666. doi: 10.1093/jas/sky092 PMID: 29528406

15. Cramer TA, Kim HW, Chao Y, Wang W, Cheng HW, Kim YHB. Effects of probiotic (*Bacillus subtilis*) supplementation on meat quality characteristics of breast muscle from broilers exposed to chronic heat stress. Poult Sci. 2018; 97(9):3358368. doi: 10.3382/ps/pey176

16. Faseleh Jahromi M, Wesam Altaher Y, Shokryazdan P, Ebrahimi R, Ebrahimi M, Idrus Z, et al. Dietary supplementation of a mixture of *Lactobacillus* strains enhances performance of broiler chickens raised under heat stress conditions. Int J Biometeorol. 2016;60(7):10991110. doi: 10.1007/s004840151103x

17. AlFatah A. Probiotic modes of action and its effect on biochemical parameters and growth performance in poultry. Iran J Appl Anim Sci. 2020;10(1):915. doi: 20.1001.1.2251628.2020.10.1.2.7

18. National Research Council (NRC). Nutrient Requirements of Poultry. 9th revised ed. Washington, DC, USA: National Academy Press. 1994.

19. Mirsaiidi Farahani M, Hosseinian SA. Effects of dietary stinging nettle (*Urtica dioica*) on hormone stress and selected serum biochemical parameters of broilers subjected to chronic heat stress. Vet Med Sci. 2022;8(2):660667. doi: 10.1002/vms3.721 PMID: 35023316

20. Berizi E, Hosseinzadeh S, Shekarforoush SS, Barbieri G. Microbial, chemical, textural and sensory properties of coated rainbow trout by chitosan combined with pomegranate peel extract during frozen storage. Int J Biol Macromol. 2018;106:10041013. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.08.099 PMID: 28844801

21. AOAC International. Official Methods of Analysis, 21st ed.; Association of Official Analytical Chemists: Rockville, MD, USA, 2019.

22. Abbasvali M, Shekarforoush SS, Aminlari M, Ebrahimnejad H. Effects of mediumvoltage electrical stimulation on postmortem changes in fattailed sheep. J Food Sci. 2012;77(1):S47–S53. doi: 10.1111/j.17503841.2011.02463.x

23. Alvarez M, Canet W, López M. Influence of deformation rate and degree of compression on textural parameters of potato and apple tissues in texture profile analysis. Eur Food Res Technol. 2002;215:13–20. doi: 10.1007/s0021700205150

24. AbdulHammed M, Adegboyega S, Abdulwahab I, Jaji A. Viscositytemperature stability, chemical characterization, and fatty acid profiles of some brands of refined vegetable oil. Phys Chem Res. 2020;8(3):417427. doi: 10.22036/pcr.2020.221177.1737

25. Ahmad R, Yu YH, Hsiao FS, Su CH, Liu HC, Tobin I, et al. Influence of heat stress on poultry growth performance, intestinal inflammation, and immune function and potential mitigation by probiotics. Animals (Basel). 2022;12(17):2297. doi: 10.3390/ani12172297 PMID: 36078017

26. AboSamaha MI, ElKazaz SE, Reddy PG. Effect of dietary ascorbic acid supplementation on performance, behaviour and gene expression in heatstressed broiler chickens. EPS. 2021;29(324). doi: 10.1399/eps.2021.324

27. Mullur R, Liu YY, Brent GA. Thyroid hormone regulation of metabolism. Physiol Rev. 2014;94(2):35582. doi: 10.1152/physrev.00030.2013 PMID: 24692351

28. Sugiharto S, Yudiarti T, Isroli I, Widiastuti E, Kusumanti E. Dietary supplementation of probiotics in poultry exposed to heat stress–a review. Ann Anim Sci. 2017;17(3):591604. doi: 10.1515/aoas20160062

29. Lan R, Wang Y, Wei L, Wu F, Yin F. Heat stress exposure changed liver lipid metabolism and abdominal fat deposition in broilers. Ital J Anim Sci. 2022;21(1):13261333. doi: 10.1080/1828051X.2022.2103461

30. AlAbdullatif A, Azzam M M. Effects of hot arid environments on the production performance, carcass traits, and fatty acids composition of breast meat in broiler chickens. Life. 2023;13:1239. doi: 10.3390/life13061239

31. Zhou X, Wang Y, Gu Q, Li W. Effect of dietary probiotic, *Bacillus coagulans*, on growth performance, chemical composition, and meat quality of guangxi yellow chicken. Poult Sci. 2010;89(3):58893. doi: 10.3382/ps.200900319 PMID: 20181878

32. Tang X, Liu X, Liu H. Effects of dietary probiotic (*Bacillus subtilis*) supplementation on carcass traits, meat quality, amino acid, and fatty acid profile of broiler chickens. Front Vet Sci. 2021;22(8):767802. doi: 10.3389/fvets.2021.767802 PMID: 34881321

33. Abdulla NR, Mohd Zamri AN, Sabow AB, Kareem KY, Nurhazirah S, Ling FH, et al. Physicochemical properties of breast muscle in broiler chickens fed probiotics, antibiotics or antibiotic–probiotic mix. J Appl Anim Res. 2017;45(1):6470. doi: 10.1080/09712119.2015.1124330

34. Zhang ZY, Jia GQ, Zuo JJ, Zhang Y, Lei J, Ren L, Feng DY. Effects of constant and cyclic heat stress on muscle metabolism and meat quality of broiler breast fillet and thigh meat. Poult Sci. 2012;91(11):29317. doi: 10.3382/ps.201202255 PMID: 23091152

35. Zeferino CP, Komiyama CM, Pelícia VC, Fascina VB, Aoyagi MM, Coutinho LL, et al. Carcass and meat quality traits of chickens fed diets concurrently supplemented with vitamins C and E under constant heat stress. Animal. 2016;10(1):16371. doi: 10.1017/S1751731115001998 PMID: 26677935

36. Hossain MM, Begum M, Kim IH. Effect of *Bacillus subtilis*, *Clostridium butyricum* and *Lactobacillus acidophilus* endospores on growth performance, nutrient digestibility, meat quality, relative organ weight, microbial shedding and excreta noxious gas emission in broilers. Vet Med. 2015;60(2):7786. doi: 10.17221/7981VETMED

37. Biswas S, Kim MH, Baek DH, Kim IH. Probiotic mixture (*Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis*) a potential infeed additive to improve broiler production efficiency, nutrient digestibility, caecal microflora, meat quality and to diminish hazardous odour emission. J Anim Physiol Anim Nutr (Berl). 2023;107(4):10651072. doi: 10.1111/jpn.13784 PMID: 36263827

38. Nawaz AH, Amoah K, Leng QY, Zheng JH, Zhang WL, Zhang L. Poultry response to heat stress: its physiological, metabolic, and genetic implications on meat production and quality including strategies to improve broiler production in a warming world. Front Vet Sci. 2021;8:699081. doi: 10.3389/fvets.2021.699081

39. Saracila M, Panaite TD, Mironeasa S, Untea AE. Dietary supplementation of some antioxidants as attenuators of heat stress on chicken meat characteristics. Agriculture. 2021;11(7):638. doi: 10.3390/agriculture11070638

40. GonzalezRivas PA, Chauhan SS Ha, M, Fegan N, Dunshea FR, Warner RD. Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review. Meat Sci. 2020;162:108025. doi: 10.1016/j.meatsci.2019.108025

41. Dong S, Li L, Hao F, Fang Z, Zhong R, Wu J, Fang X. Improving quality of poultry and its meat products with probiotics, prebiotics, and phytoextracts. Poult Sci. 2024;103(2),103287. doi: 10.1016/j.psj.2023.103287 PMID: 38104412

42. Pečjak M, Leskovec J, Levart A, Salobir J, Rezar V. Effects of dietary vitamin E, vitamin C, selenium and their combination on carcass characteristics, oxidative stability and breast meat quality of broiler chickens exposed to cyclic heat stress. Animals. 2022;12(14):1789. doi: 10.3390/ani12141789

43. Humam AM, Loh TC, Foo HL, Izuddin WI, Awad EA, Idrus Z, et al. Dietary supplementation of postbiotics mitigates adverse impacts of heat stress on antioxidant enzyme activity, total antioxidant, lipid peroxidation, physiological stress indicators, lipid profile and meat quality in broilers. Animals. 2020;10(6):982. doi: 10.3390/ani10060982

44. Bai WK, Zhang FJ, He TJ, Su PW, Ying XZ, Li Li Zhang, et al. Dietary probiotic *Bacillus subtilis* strain fmbj increases antioxidant capacity and oxidative stability of chicken breast meat during storage. PLOS ONE. 2016;11(12):e0167339. doi: 10.1371/journal.pone.0167339

45. Zaboli G, Huang X, Feng X, Ahn DU. How can heat stress affect chicken meat quality? a review. Poult Sci. 2019;98(3):15511556. doi: 10.3382/ps/pey399 PMID: 30169735

46. Gyawali I, Paudel R. The effect of heat stress on meat quality, growth performance and antioxidant capacity of broiler chickens: a review. Poult Sci J. 2022;10(1):112. doi: 10.22069/PSJ.2022.19766.1757

47. AbouKassem DE, Elsadek MF, AbdelMoneim AE, Mahgoub SA, Elaraby GM, Taha AE, et al. Growth, carcass characteristics, meat quality, and microbial aspects of growing quail fed diets enriched with two different types of probiotics (*Bacillus toyonensis* and *Bifidobacterium bifidum*). Poult Sci. 2021;100(1):8493. doi: 10.1016/j.psj.2020.04.019 PMID: 33357710

48. Mohammed AA, Zaki RS, Negm EA, Mahmoud MA, Cheng HW. Effects of dietary supplementation of a probiotic (*Bacillus subtilis*) on bone mass and meat quality of broiler chickens. Poult Sci. 2021;100(3):100906. doi: 10.1016/j.psj.2020.11.073 PMID: 33518351

49. khalilnia F, Mottaghitalab M, Mohiti M, Seighalani R. Effects of dietary supplementation of probiotic and *Spirulina Platensis* microalgae powder on growth performance immune response, carcass characteristics, gastrointestinal microflora and meat quality in broilers chick. Vets Med Sci. 2023;9:16661674. doi: 10.1002/vms3.1154