



고온 환경에서 카테킨 및 비타민 C 첨가가 육계의 생산성, 계육품질, 혈액성분 및 스트레스 지표에 미치는 영향

손지선^{1*} · 이우도^{2*} · 김희진² · 김현수¹ · 홍의철¹ · 전익수³ · 강환구^{1†}

¹국립축산과학원 가금연구소 농업연구사, ²국립축산과학원 가금연구소 박사후 연구원, ³국립축산과학원 가금연구소 농업연구관

Effect of Combined Supplementation Catechin and Vitamin C on Growth Performance, Meat Quality, Blood Composition and Stress Responses of Broilers under High Temperature

Jiseon Son^{1*}, Woo-Do Lee^{2*}, Hee-jin Kim², Hyunsoo Kim¹, Eui-Chul Hong¹, Iksoo Jeon³ and Hwan-Ku Kang^{1†}

¹Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, RDA, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

²Postdoctor Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, RDA, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

³Senior Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

ABSTRACT The study was carried out to investigate the effects of dietary combined supplementation of antioxidants as catechin and vitamin C on growth performance, meat quality, blood profiles and stress responses of broilers exposed to high temperature. For this experiment, a total of 360 21-day-old male Ross 308 broilers were used. Treatments were assigned with 6 replicates per treatment and 10 birds per replicate in a 2 × 3 factorial design with vitamin C (0, 250 mg/kg) and catechin (0, 600, 1,200 mg/kg). The heat stress environment was maintained at temperature 32±1°C and relative humidity 60±5% for 24 hours until the end of the experiment. The supplemented antioxidants had no significant difference in weight gain, feed intake and feed conversion ratio ($P>0.05$). The content of total cholesterol in blood had no interaction, but decrease ($P<0.01$) in the supplemented catechin group. Also, the supplementation with catechin showed increase in the SOD activity of blood, and lower corticosterone and IgM levels of broilers. The contents of HSP70 and MDA in liver decrease ($P<0.05$) with the supplementation of antioxidants, and HSP70 showed an interaction between groups. DPPH radical scavenging ability in breast meat increased ($P<0.01$) in catechin, but meat quality did not show difference according to treatments. Respiratory rate decreased ($P<0.05$) in catechin, but no interaction with vitamin C. In conclusion, the combination of vitamin C and catechin can alleviate stress under high temperature, such as HSP70 and MDA, but further study on the optimal supplemental level is needed.

(Key words: catechin, vitamin C, feed additive, heat stress, broiler)

서 론

최근 가금 산업은 이상기온 현상, 1인당 계육 및 계란 수요량 증가, 다양한 질병의 출현 및 확산 등 극복해야할 여러 문제점에 직면해 있다(Madkour et al., 2021). 이 중 환경문제인 고온 스트레스(heat stress)는 질병 감염률, 폐사율, 성장률 저하 등과 같은 가금류의 건강과 생산성에 심각한 영향을 미치는 요인 중 하나이다(Hu et al., 2019; Wasti et al., 2020). 특히, 고온 스트레스에 노출된 가금은 내분비 장애,

면역 억제, 산화 스트레스를 유발하며 근육의 해당 과정 및 산화 상태에 영향을 주어 축산물 품질에 부정적인 영향을 초래한다(Hu et al., 2019; Chang et al., 2020). Wasti et al.(2020)에 따르면, 2003년 기준 고온 스트레스는 가금 산업에서 연간 1억 2,800만 달러 이상의 경제적 손실을 발생시켰으며 지구 연평균 기온이 상승함에 따라 피해액은 향후 지속적으로 증가할 것으로 전망된다. 또한 2021년 기준 전 세계 인구는 약 79억 명으로, 2050년에는 93억 명, 2100년에는 약 110억 명에 이를 것으로 예측됨에 따라 단백질 공급

* First two authors are equally contributed to this work.

† To whom correspondence should be addressed : magic100@korea.kr

에 대한 수요가 증가할 것으로 예상되어 미래 가금 산업에 발생할 수 있는 문제를 완화하기 위한 대책 마련이 필요하다(Madkour et al., 2021).

닭의 고온 스트레스를 완화하기 위해서는 육종적인 측면에서 열 적응성이 높은 품종으로 개량하거나(Gonet et al., 2000; Deeb and Cahaner, 2002), 간헐적 점등, 제한급여와 같은 사양관리(Aerts et al., 2000; Liew et al., 2003)와 생균제, 비타민, 전해질 등을 이용한 영양학적(Lin et al., 2000; Kucuk et al., 2003; Lan et al., 2004) 효과에 대한 연구들이 보고되었다.

비타민 C는 높은 항산화 특성을 가진 수용성 비타민 중 하나로 닭에 급여시, 고온 스트레스에 의해 생성된 자유 라디칼을 제거하여 스트레스를 완화해주고 면역력을 높여 생산성 개선에 도움이 되는 물질로 알려져 있다(Jang et al., 2014; Attia et al., 2016; Abdulameer, 2019). 카테킨(catechin)은 차, 양파, 체리, 사과, 브로콜리 등 다양한 식물에 존재하는 플라보노이드 화합물로 특히, 녹차에 가장 풍부하다(Kara et al., 2016). 카테킨 함량이 많은 식물 및 그 추출물은 항산화, 항균, 항진균 및 항암 등 다양한 생리적 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Donsi et al., 2011; Kara et al., 2016). 여러 연구에 따르면, 녹차의 가금 사료 내 첨가는 사료섭취량, 체중 및 사료 효율(Biswas and Wakita, 2001; Saraee et al., 2015)과 콕시듐증, 뉴캐슬병과 같은 질병에 대한 저항성을 개선시켰으며(Zarezadeh et al., 2013; Abba et al., 2017), 축산물 내 과산화물 감소, 난황 콜레스테롤 감소, 알파-토코페롤 개선 등 가금의 품질을 향상시키는 것으로 보고되고 있다(Uganbayar et al., 2005; Abdo et al., 2010). 카테킨은 *in vivo*에서 체내 흡수를 저하로 생체이용률이 낮은 것으로 알려져 있지만, *in vitro*에서 ascorbic acid와 카테킨을 같이 급여하면 소장 흡수를 향상시켜 생체이용률을 높일 수 있다고 보고하였다(Peters et al., 2010). 또한, 돼지에게 레몬주스와 카테킨을 혼합 급여 시 항산화 효소 활성을 높여 산화 스트레스를 감소시키는 효과가 나타났다(Fang et al., 2019).

따라서, 본 연구는 고온 환경에서 육계에 비타민 C(0, 250 mg)와 카테킨(0, 600, 1,200 mg/kg)을 급여 시 생산성, 혈액 성분 및 스트레스 반응에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 실험 설계 및 사양관리

공시동물은 21일령 수컷 Ross 308 품종 육계 360수를 공시하였으며, 총 2주간 시험을 실시하였다. 처리구는 후기사료에 비타민 C(0, 250 mg/kg)와 카테킨(0, 600, 1,200 mg/kg)의 단독 및 혼합 급여에 따른 2×3 요인시험으로 설계하였으며, 무첨가구, 비타민 C 250 mg/kg, 카테킨 600 mg/kg, 카테킨 1,200 mg/kg, 비타민 C 250 mg/kg+카테킨 600 mg/kg, 비타민 C 250 mg/kg+카테킨 1,200 mg/kg으로 구분하여 처리당 6반복, 반복 당 10수씩 완전 임의 배치하였다. 시험사료는 옥수수-대두박 위주의 시판사료를 전기(CP 20.05%, ME 3,100 kcal/kg) 및 후기(CP 19.0%, ME 3,150 kcal/kg)를 이용하였으며, 각 처리별 사료는 시판사료에 각각의 첨가제를 혼합하여 급여하였다. 본 시험에 사용한 첨가물은 녹차에서 추출한 카테킨 분말(Red Star Pharmaceutical Co., Ltd, Anhui, China)과 상업용 비타민 C 분말(L-ascorbic acid, CSPC Pharmaceutical Group Ltd, Shijiazhuang, China)을 사용하였다.

모든 처리구는 크기가 같은 pen(1.5 m×1.5 m)에 사육밀도를 동일하게 하여 수용하였다. 시험기간동안 사료와 물은 자유급이하였으며, 점등시간은 23L:1D를 유지하였다. 계사 내 온도는 초기 1일령에 33℃로 설정하였으며, 이후에는 이틀에 2℃씩 낮춰 21일령까지 21℃로 유지하였다. 본 시험은 국립축산과학원 가금연구소 실험동물관리 및 연구윤리위원회의 규정과 허가(승인번호: 2020-470)에 따라 실시하였다.

2. 고온실험환경

21일령에 가스온풍기를 이용해 21℃로 유지되고 있던 계사 내 온도를 1시간에 2℃씩 서서히 올려 최종적으로 온도 32±1℃, 습도 60±5%를 유지하였으며, 2주동안 고온 스트레스 환경을 조성하였다. 시험기간동안 로그 온습도계를 설치하여 사육환경을 관리하였다.

3. 조사항목

1) 체중, 증체량, 사료섭취량, 사료 요구율

고온환경 처리 동안 1주 단위로 전수 체중을 측정하여 증체량을 산출하였으며, 사료섭취량은 반복별로 사료잔량을 측정하여 섭취량을 구하였다. 계산된 증체량과 사료섭취량을 통해 사료 요구율을 산출하였다.

2) 시료채취

시험 종료일에 처리당 반복별로 2수씩 평균 체중과 유사한 개체를 선별하여 혈액, 가슴육 및 간을 채취하였다. 혈액은 익하정맥에서 5 mL씩 채취하여 EDTA가 처리된 tube와

serum separator tube(BD Biosciences, Franklin Lakes, NJ, USA)에 나누어 담았다. Serum separator tube에 채취한 혈액은 4℃, 3,000 rpm에서 15분간 원심분리(VS-6000 CFN, Vison Scientific Co., Bucheon, Korea)하여 혈청을 분리한 후 -80℃에 보관하였다. 채취한 간 조직은 HSP70(Heat shock protein 70)과 MDA(Malondialdehyde) 성분 분석을 위해 -80℃에 보관하였으며, 가슴육은 품질 분석 전까지 4℃에 보관하였다.

3) 가슴육 품질

육계 가슴육 pH는 pH meter(pH-K21, NWK-Binar GmbH, Celiustr, Germany)를 이용하여 측정하였다. 육색은 Colormeter(CR-300, Minolta Co., Osaka, Japan)를 이용하여 측정하였으며, 보수력과 가열감량은 Kim et al.(2018)의 방법을 이용하여 분석하였다. 전단력은 V blade를 이용하여 전단력 측정기(Warner-Bratzler shear force meter(Lloyd Instruments, Berwyn, IL, USA)로 측정하였다.

4) 혈구 조성 및 혈청 생화학 성분 분석

혈구 분석을 위해 EDTA가 처리된 튜브를 이용하였으며, 채취한 혈액은 24시간 이내에 자동 혈구 분석기(HEMAVET® HV950FS, Drew Scientific, Inc., FL, USA)를 이용하여 분석하였다. 혈청 내 생화학 성분은 자동 혈액 생화학 분석기(AU480 Chemistry Analyzer, Beckman Coulter Inc., CA, USA)를 이용하여 혈청 내 total cholesterol, triglyceride, glucose, total protein, AST(Aspartate aminotransferase), ALT(Alanine aminotransferase), albumin, creatinine, IP(Inorganic phosphorus) 및 LDH(Lactate dehydrogenase)를 분석하였다.

5) 혈청 내 superoxide dismutase 활성, corticosterone 및 IgM 분석

사료 내 첨가제 급여에 대한 항산화수준 분석을 위해 혈청 내 SOD(Superoxide dismutase) 활성은 SOD assay kit WST(Dojindo, Tokyo, Japan)를 이용하여 분석하였다. 스트레스호르몬 분석은 corticosterone ELSIA kit(ADI-900-097, Enzo Life Sciences, Inc., Farmingdale, NY, USA)을 이용하여 분석하였다. 혈액 내 Immunoglobulin M(IgM)은 chicken IgM ELSIA kit(MyBioSource, San Diego, California, USA)를 분석에 이용하였다. 각 분석 항목은 microplate reader (Epoch 2, BioTek Instruments, Inc., VT, USA)를 이용하여 측정하였다.

6) 간 내 heat shock protein 70 및 MDA 함량 분석
간 내 HSP70(Heat shock protein 70)은 chicken HSP70 ELISA kit(Cusabio Life Science, Wuhan, China)로 분석하였다. 지질과산화도는 thiobarbituric acid 방법에 따라 생성된 malondialdehyde(MDA) 함량을 532nm 흡광도에서 측정하였다. 간 조직의 단백질 분석은 BCA방법(Rierce BCA protein, Assay Kit 23225, Thermo Scientific, MA, USA)을 이용해 분석하였으며, MDA 함량은 단백질 g당 농도로 나누어 표시하였다.

7) 가슴육 내 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) 라디칼 소거능

가슴육 내 DPPH 라디칼 소거능을 측정하기 위해 Blois(1958)의 방법을 이용하여 측정하였다. 메탄올에 용해시킨 0.2 mM DPPH 100 μL에 각 시료를 100 μL씩 혼합하여, 실온 암실에서 30분간 반응시켰다. 반응시킨 후, 517 nm에서 microplate reader(Epoch 2, BioTek Instruments, Inc., VT, USA)를 이용하여 흡광도를 측정하였으며, DPPH 라디칼 소거능은 아래의 식에 따라 계산하였다.

$$\text{DPPH 라디칼 소거능 (\%)} = (1 - (\text{시료 흡광도}/\text{대조구 흡광도})) \times 100$$

8) 직장온도 및 호흡수 측정

직장온도와 호흡수는 시험 개시일과, 3, 7, 및 14일 이후에 반복 당 2수씩 무작위로 선택하여 측정하였다. 직장온도는 디지털 체온 측정계(polygreen Co. Ltd)를 직장에 약 3~4 cm 정도 삽입하여 약 1분여간 안정된 값을 나타낼 때의 온도를 기록하였으며, 호흡수는 30초 동안의 호흡수를 정량화한 다음 분당 호흡으로 표시하였다.

4. 통계처리

본 시험에서 얻어진 모든 자료들의 통계분석은 SAS (Statistics analytical system) 9.4를 이용하였으며, 2 × 3 요인 실험에 따른 분산분석을 통하여 조사항목에서의 비타민 C 첨가 유무 및 카테킨의 첨가 수준, 그리고 각 물질 간 상호작용에 대한 유의성을 검정하였다. 설계한 각 반복은 성장에 대한 매개변수(체중, 증체량, 사료섭취량 및 사료 요구율) 분석을 위한 실험 단위이며, 각각의 선별 개체는 계육 품질, 혈액 및 간 조직 분석, 직장 온도와 호흡수 분석을 위한 단위로 사용하였다. 처리구간의 95% 수준에서 유의성이 인정된 조사항목에 대하여 Duncan's multiple range test를 이용

하여 평균값 간의 유의성을 검정하였다.

결 과

1. 체중, 사료 섭취량 및 사료 요구율

사료 내 비타민 C와 카테킨의 단독 및 혼합 첨가에 따른 생산성 결과는 Table 1에 나타내었다. 고온스트레스환경 동안 육계의 증체량은 959.4~1,078.8 g, 사료 섭취량은 1,661.6~1,739.6 g, FCR은 1.61~1.78 범위를 나타내었으며, 사료 내 카테킨과 비타민 C의 단독 및 혼합 첨가에 의한 육계의 생산성에 유의적인 영향을 미치지 않았다. 고온스트레스는 육계의 사료 섭취량을 감소시키고, 산화스트레스를 유발하여 생산성을 저하시킨다. 그래서 고온스트레스를 완화시키기 위해 비타민, 식물추출물 등 항산화제를 이용하는 연구들이 보고되고 있다. Biswas and Wakita(2001)의 연구에 따르면, 육계 사료 내 높은 수준의 녹차추출물의 급여는 증체량을 감소시키는 경향이 있지만, 녹차 분말과 녹차추출물의 첨가가 육계의 생산성에 영향을 주지 않았다고 보고하였다(Shomali et al., 2012; Farahat et al., 2016). 또한 고온 환경에서 비타민 C를 사료 내 300 mg/kg 첨가했을 때 육계의 생산성을 개선시켰으나(Khattak et al., 2012), Rafiee et al.(2016)의 연구에서는 250 mg/kg 첨가 수준이 생산성에 효과를 보이지 않았다고 보고하여 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 또한, Mazur-Kuśnerek et al.(2019)은 비타민 E와 폴리페놀을 육계에 단독 및 혼합 첨가하였으나 대조구와 비슷한 결과를 나타냈다고 보고하였다. 이러한 천연 사료첨가제의 효과적인 첨가 수준과 물질 간의 상호작용에 대한 생산 효능은 품종, 사육환경 등에 따라 다르기 때문에

(Erener et al., 2011; Mazur-Kuśnerek et al., 2019; Shakeri et al., 2020) 추후 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

2. 가슴육 품질

계육품질은 생산성에 영향을 미치는 주요 지표이다. 고온 환경에서 육계 사료 내 카테킨과 비타민 C의 첨가에 따른 육계 가슴육의 품질은 Table 2에 나타내었다. 고온스트레스는 근육 내 글리코겐의 혐기성 해당 작용을 촉진시켜 젖산을 축적시켜 pH가 낮아지며, PSE(pale, soft, and exudative meat)육의 특성을 보이는 경향이 있어 고기의 품질을 저하시킬 수 있다. 커큐민, 글루타민과 같은 항산화제 급여는 근육 내 글리코겐 함량을 증가시키고 젖산을 감소시켜 pH값이 떨어지는 것을 방지한다고 보고되고 있다. 육색은 소비자가 시각적으로 먼저 확인하는 중요한 지표이며(Hillebrand et al., 1996), 비타민 C 및 E와 같은 항산화제 급여는 지질 산화를 억제해 육색의 안정성을 높이는 것으로 보고하였다(Tang et al., 2006). Zhao et al.(2021)은 epigallocatechin gallate(EGCG)의 급여가 대조구 대비 육계 가슴육의 pH가 증가하였으며, 명도가 감소하고 적색도가 증가했다고 보고하였다. 본 연구에서는 비타민 C 처리구의 황색도가 증가하였으며($P<0.05$), pH는 낮게 나타났는데($P<0.05$), 이는 녹차추출물 내 카테킨의 성분 함량의 차이에 의해 다른 결과를 보인 것으로 사료된다. 보수력, 가열감량 및 육즙손실은 고기가 수분을 보유할 수 있는 다즙성 특성을 나타내며(Guo et al., 2016), 고온스트레스는 근육세포의 수분 손실을 증가시켜 가슴육의 수분함유 능력을 떨어뜨릴 수 있다(Park and Kim, 2017). Zhao et al.(2021)은 육계의 EGCG 급여가 근육 내 항산화효소 활성을 높여 육즙손실을 감소시켰다고 보고

Table 1. Effect of combined supplementation of catechin and vitamin C supplementation on growth performance in broilers during high temperature

Vitamin C (mg/kg)	0			250			SEM ¹	P-value			
	Catechin (mg/kg)	0	600	1,200	0	600		1,200	C	V	C × V
Initial body weight (g)		957.2	958.2	937.1	955.0	937.7	947.1	5.54	0.717	0.615	0.562
Final body weight (g)		1,916.6	1,969.2	1,953.6	2,033.8	1,918.2	1,957.1	17.27	0.755	0.505	0.145
Body weight gain (g)		959.4	1,011.0	1,016.5	1,078.8	980.5	1,010.0	16.87	0.843	0.424	0.169
Feed intake (g)		1,692.0	1,703.3	1,713.0	1,734.1	1,661.6	1,739.6	12.71	0.373	0.730	0.379
FCR		1.78	1.69	1.69	1.61	1.72	1.73	0.03	0.984	0.530	0.178

¹ C, catechin; V, vitamin C; C × V, catechin × vitamin C.

FCR, feed conversion ratio.

SEM, standard error of means.

Table 2. Effect of combined supplementation of catechin and vitamin C supplementation on meat quality of broilers during high temperature

Vitamin C (mg/kg)	0			250			SEM	<i>P</i> -value ¹			
	Catechin (mg/kg)	0	600	1,200	0	600		1,200	C	V	C × V
pH		6.13 ^{ab}	6.12 ^{ab}	6.16 ^a	6.02 ^c	6.08 ^{abc}	6.07 ^{bc}	0.01	0.537	0.001	0.568
Cooking loss (%)		23.49	25.18	25.85	26.95	25.07	22.84	0.42	0.660	0.889	0.013
WHC (%)		63.81	64.03	63.62	63.58	63.11	63.83	0.14	0.900	0.280	0.290
Drip loss (%)		2.70	2.57	2.02	2.45	2.62	2.29	0.19	0.561	0.958	0.864
Shearing force (kg/cm ²)		1.60	2.01	1.99	1.70	1.67	2.00	0.06	0.065	0.532	0.265
Meat color											
L*		52.63	51.11	51.38	51.94	51.36	50.92	0.25	0.131	0.560	0.929
a*		2.47	1.55	1.64	1.97	1.86	2.03	0.08	0.051	0.710	0.078
b*		10.50 ^b	10.54 ^b	11.30 ^b	11.49 ^{ab}	12.76 ^a	11.85 ^{ab}	0.19	0.348	0.001	0.217

^{a-c} Means in same rows with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

¹ C, catechin; V, vitamin C; C × V, catechin × vitamin C.

WHC, water holding capacity.

SEM, standard error of means.

했다. 하지만, 본 연구에서 보수력과 육즙손실은 처리에 따른 차이가 없었으나, 가열감량은 카테킨과 비타민 C의 상호작용 효과를 보였다($P<0.05$). 고온스트레스로 인한 체내 활성산소의 증가는 단백질 분해에 직접적 역할을 하는 칼페인 산화나 Atrogin-1 유전자 발현을 증가시켜 고기 전단력에 영향을 미칠 수 있다(Feng et al., 2008; Gu et al., 2008). 하지만 본 연구에서는 처리에 따른 차이를 보이지 않았으나, 정상육 범위에 있는 것으로 나타났다.

3. 혈구 조성 및 혈액 생화학 성분

고온 환경에서 육계 사료 내 카테킨과 비타민 C의 첨가에 따른 혈구성분은 Table 3에 나타내었다. 카테킨 첨가는 육계의 혈액 내 WBC, RBC, HE, LY, Hb 및 HCT 수준을 감소시켰으며($P<0.05$), 비타민 C 첨가는 MCV와 MCHC 수준을 감소시켰다($P<0.05$). 혈액 성분은 동물의 건강 상태를 평가하는 주요 지표 중 하나이며(Abdel Tawwab et al., 2010; Son et al., 2022), 일령 및 성별과 같은 생리적 요인, 사육환경, 사료 영양성분 등에 따라 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Elagib et al., 2013; Lee et al., 2022). Ajarem et al.(2017)은 녹차 추출물을 Swiss - Webster 마우스에게 급이하였을 때, RBC와 Hb가 유의적으로 감소했는데, 이는 녹차 내 폴리페놀 성분이 철의 생체 이용률과 흡수에 영향을 준 것으로 보고하였다. 혈구 성분 중 WBC와 LY는 체내 면역 상태를 나

타내는 지표로 병원체의 감염, 염증 등 질병 발생이나 스트레스 노출 등에 영향을 받는다(Honda et al., 2015; Lauridsen et al., 2019). 항산화, 항염증 및 항균 등 다양한 생리활성을 가진 식물성 첨가제에 대해 평가한 연구 중에서 WBC와 LY 등 면역 지표를 개선시켰다고 보고하였으나, 일부 연구에서는 개선 효과가 없거나 감소했다고 보고되었다(Khalaji et al., 2011; Attia and Al-Harhi, 2015; Reis et al., 2018; Abd El-Hady et al., 2019). 스트레스 지표로 이용되는 H/L ratio는 대조구가 0.62로 높게 나타났지만, 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 본 연구의 고온 환경에서 카테킨과 비타민 C의 첨가로 육계의 혈액 내 WBC와 RBC, HE, LY, EO 등 성분이 대조구보다 낮게 나타나 면역 체계에 영향을 주는 것으로 보이지만, 그 메커니즘에 대한 구체적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

육계 사료 내 카테킨과 비타민 C의 첨가에 따른 혈액 생화학 성분 결과는 Table 4에 나타내었다. 혈액 생화학성분의 변화는 닭의 체내 산화적 손상 정도를 나타내는 지표로 이용된다. 카테킨의 첨가 급여는 대조구 대비 혈액 내 total cholesterol 수준을 감소시켰으며($P<0.05$), glucose 함량은 증가시켰다($P<0.05$). 또한, 비타민 C 첨가는 혈액 내 total protein을 증가시켰으나($P<0.05$), IP와 LDH, ALT 수준은 감소하였으며($P<0.05$), IP는 상호작용 효과를 보였다($P<0.05$).

Table 3. Effect of combined supplementation of catechin and vitamin C supplementation on composition of leukocyte and erythrocyte profile in broilers during high temperature

Vitamin C (mg/kg)	0			250			SEM	<i>P</i> -value ¹		
Catechin (mg/kg)	0	600	1,200	0	600	1,200		C	V	C × V
WBC (K/uL)	25.05 ^a	21.37 ^a	19.95 ^a	22.73 ^{ab}	20.79 ^a	22.44 ^{ab}	0.48	0.024	0.891	0.885
HE (K/uL)	8.07 ^a	6.44 ^b	5.98 ^b	7.00 ^{ab}	6.16 ^b	6.84 ^{ab}	0.21	0.033	0.707	0.693
LY (K/uL)	12.80 ^a	11.55 ^b	10.90 ^b	12.14 ^{ab}	11.43 ^b	12.06 ^{ab}	0.17	0.026	0.718	0.701
H/L ratio	0.62	0.55	0.54	0.57	0.53	0.56	0.01	0.142	0.473	0.467
MO (K/uL)	2.44 ^a	2.22 ^{ab}	2.05 ^b	2.24 ^{ab}	2.14 ^{ab}	2.29 ^{ab}	0.04	0.227	0.886	0.883
EO (K/uL)	1.26 ^a	0.85 ^b	0.76 ^b	1.00 ^b	0.80 ^b	0.92 ^b	0.04	0.005	0.575	0.544
BA (K/uL)	0.48 ^a	0.28 ^b	0.25 ^b	0.32 ^b	0.25 ^b	0.31 ^b	0.02	0.019	0.318	0.287
RBC (K/uL)	2.41 ^a	2.11 ^b	2.04 ^b	2.16 ^b	2.09 ^b	2.17 ^b	0.02	0.005	0.407	0.349
Hb (g/dL)	8.72 ^a	7.71 ^b	7.48 ^b	7.90 ^b	7.60 ^b	7.85 ^b	0.09	0.003	0.323	0.267
HCT (%)	26.00 ^a	22.78 ^b	22.63 ^b	23.40 ^b	22.15 ^b	22.50 ^b	0.31	0.003	0.072	0.050
MCV (fL)	107.84 ^{abc}	107.88 ^{abc}	110.72 ^a	108.22 ^{ab}	105.69 ^{bc}	103.42 ^c	0.65	0.721	0.018	0.016
MCH (pg/dL)	36.28	36.56	36.60	36.56	36.33	36.19	0.19	0.995	0.756	0.762
MCHC (g/dL)	33.63 ^{ab}	33.88 ^{ab}	33.13 ^b	33.84 ^{ab}	34.44 ^{ab}	35.03 ^a	0.21	0.690	0.035	0.035

^{a-c} Means in same rows with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

¹ C, catechin; V, vitamin C; C × V, catechin × vitamin C.

WBC, white blood cells; HE, heterophil; LY, lymphocytes; H/L ratio, heterophil/lymphocytes; Mo, monocytes; EO, eosinophils; BA, basophils; RBC, red blood cells; Hb, hemoglobin; HCT, hematocrit; MCV, mean corpuscular volume; MCH, mean corpuscular hemoglobin; MCHC, mean corpuscular hemoglobin concentration.

SEM, standard error of means.

Table 4. Effect of combined supplementation of catechin and vitamin C supplementation on biochemical profiles of blood in broilers during high temperature

Vitamin C (mg/kg)	0			250			SEM	<i>P</i> -value ¹		
Catechin (mg/kg)	0	600	1,200	0	600	1,200		C	V	C × V
T.chol (mg/dL)	180.36 ^a	161.44 ^b	156.11 ^b	174.46 ^{ab}	155.23 ^b	159.57 ^b	2.66	0.002	0.591	0.879
TG (mg/dL)	71.31	87.34	91.07	86.60	80.72	66.83	3.73	0.818	0.491	0.082
GLU (mg/dL)	238.91 ^a	249.96 ^{ab}	257.48 ^a	242.19 ^{ab}	253.74 ^{ab}	250.25 ^{ab}	2.40	0.049	0.991	0.761
TP (g/dL)	2.86 ^{abc}	2.67 ^c	2.79 ^{bc}	3.07 ^a	2.96 ^{ab}	2.82 ^{bc}	0.03	0.080	0.006	0.601
ALB (g/dL)	1.19	1.11	1.19	1.25	1.23	1.15	0.01	0.128	0.057	0.093
AST (U/L)	284.84	257.84	268.80	255.00	248.39	269.33	4.00	0.204	0.098	0.684
ALT (U/L)	1.63 ^a	1.47 ^{ab}	1.66 ^a	1.38 ^b	1.32 ^b	1.54 ^{ab}	0.03	0.110	0.029	0.465
Ca (mg/dL)	10.32	10.02	10.74	10.21	10.25	10.11	0.07	0.243	0.230	0.282
IP (mg/dL)	6.53 ^{bc}	6.88 ^b	7.72 ^a	6.04 ^c	6.49 ^{bc}	6.02 ^c	0.10	0.075	<0.001	0.003
LDH (mg/dL)	1,955 ^a	1,845 ^a	1,768 ^a	1,167 ^b	1,308 ^b	1,297 ^b	64.61	0.856	<0.001	0.589

^{a-c} Means in same rows with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

¹ C, catechin; V, vitamin C; C × V, catechin × vitamin C.

T.chol, total cholesterol; TG, triglyceride; GLU, glucose; TP, total protein; ALB, albumin; AST, aspartate aminotransferase; ALT, alanine aminotransferase; IP, inorganic phosphorus; LDH, lactate dehydrogenase.

SEM, standard error of means.

고온스트레스는 체내 스트레스호르몬의 분비를 증가시켜, 포도당, 단백질 및 지방의 대사를 변화시키는 것으로 보고하였다. 녹차의 카테킨은 지질의 장내 흡수를 억제하여 간이나 조직에 지질이 과도하게 축적되는 것을 방지하며, 섬유소 성분은 담즙산과 여러 지질을 흡착하여 혈액 내 cholesterol 수치를 낮추는 것으로 보고되고 있다(Ikeda et al., 1992). 또한 녹차추출물을 마우스에 급이하였을 때, cholesterol과 triglyceride 수치를 낮추어 체내 지질 대사에 영향을 준다고 보고하였으며(Zheng et al., 2011), 녹차의 폴리페놀 성분 급이는 마우스의 HDL cholesterol을 제외한 콜레스테롤의 배설을 증가시켜 혈중 콜레스테롤 수치가 감소했다고 보고하였다(Yokozawa et al., 2002). 고온 환경은 육계의 산화스트레스를 유발하여 체내 손상 지표로 이용되는 혈중 CK, LDH, AST 수준을 증가시켰으며 total protein 수준을 증가시켰다(Xue et al., 2017). 또한, 고온스트레스는 포도당 이용을 증가시켜 cholesterol과 glucose 수준을 높인다고 보고하였다(Xie et al., 2015). 카테킨 성분 중 EGCG의 급이는 p-AMPK를 활성화시켜 지질 산화를 통해 에너지를 생산하며, 단백질의 분해를 감소해 혈중 단백질 함량이 증가했다고 보고하여(Kim et al., 2013), 본 결과와 유사하게 나타났다. 본 연구에서 카테킨과 비타민 C는 체내 항산화시스템을 활성화시켜 에너지 대사 조절과, 조직 손상을 보호하는데 영향을 미치는 것으로 사료된다.

4. 혈액 내 SOD 활성, Corticosterone 및 IgM

고온 환경에서의 육계 사료 내 카테킨과 비타민 C의 첨가에 대한 스트레스반응 지표는 Table 5에 나타내었다. 혈액 내 SOD 수준은 카테킨을 급여한 처리에서 대조군 대비 높았으며($P<0.05$), corticosterone과 IgM은 감소하였으나($P<0.05$),

비타민 C와 상호작용은 나타나지 않았다. 카테킨은 혈액 내 SOD, catalase와 같은 항산화효소를 증가시켜(Skrzydłewska et al., 2002), 산화적 손상으로부터 세포를 보호하고 면역 체계를 강화해준다(Hirasawa and Takada, 2004; Abdel-raheim et al., 2009). 그리고 닭이 스트레스를 받으면 항상성 조절을 위해 부신에서 스트레스 호르몬인 corticosterone을 분비하며, 스트레스 호르몬의 증가는 면역기능을 감소시킨다(Lin et al., 2006; Shini et al., 2010). 또한, 고밀도 스트레스에 노출된 육계의 혈액 내 IgA, IgM와 같은 특정 면역글로블린 수준이 증가한 것으로 보고되었다(Gomes et al., 2014). 본 연구결과에서 항산화제인 카테킨의 첨가 급이는 육계의 체내 항산화능력을 향상시켜 고온스트레스에 의한 손상을 완화시켰으며, 혈액 내 corticosterone과 IgM의 수준을 개선시킨 것으로 사료된다.

5. 간 내 Heat Shock Protein 및 MDA 분석

고온 환경에서 사료 내 카테킨과 비타민 C의 단독 및 혼합 첨가에 따른 육계의 간 내 HSP70 및 MDA의 함량 변화는 Table 6에 나타내었다. 카테킨과 비타민 C는 HSP70과 MDA 성분을 유의적으로 낮추었으며($P<0.05$), 특히 비타민 C와 카테킨의 혼합 급이는 HSP70 감소에 대하여 상호작용하였다($P<0.05$). 그러나, 비타민 C와 카테킨의 혼합 급이는 MDA 수준에 대하여 유의적인 영향을 미치지 않았다. 고온스트레스는 체내 활성산소 발생을 증가시켜 산화스트레스를 야기하여 육계의 항산화능력을 떨어뜨리고, 단백질의 변성 및 세포 사멸 등으로 조직에 더 많은 산화적 손상을 유발할 수 있다(Gu et al., 2008; Fouad et al., 2016). Mitsumoto et al.(2005)은 녹차와 비타민 C를 강한 항산화제라 보고하였으며, Erfani et al.(2021)은 고온스트레스 조건에서 육계에

Table 5. Effect of combined supplementation of catechin and vitamin C supplementation on stress index in blood of broilers during high temperature

Vitamin C (mg/kg)	0			250			SEM	<i>P</i> -value ¹		
	Catechin (mg/kg)	0	600	1,200	0	600		1,200	C	V
Superoxide dismutase (U/mL)	164.58 ^b	179.57 ^{ab}	199.42 ^a	170.59 ^{ab}	178.80 ^{ab}	188.99 ^{ab}	3.510	0.007	0.791	0.584
Corticosterone (ng/mL)	20.43 ^a	17.20 ^{ab}	10.51 ^c	17.88 ^{ab}	12.63 ^c	14.33 ^{bc}	0.93	0.009	0.413	0.124
IgM (ng/mL)	12.03 ^a	9.07 ^{ab}	5.65 ^b	11.98 ^a	8.32 ^{ab}	9.84 ^{ab}	0.611	0.008	0.321	0.163

^{a-c} Means in same rows with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

¹ C, catechin; V, vitamin C; C × V, catechin × vitamin C.

IgM, immunoglobulin M.

SEM, standard error of means.

Table 6. Effect of combined supplementation of catechin and vitamin C supplementation on stress index in liver of broilers during high temperature

Vitamin C (mg/kg)	0			250			SEM	<i>P</i> -value ¹			
	Catechin (mg/kg)	0	600	1,200	0	600		1,200	C	V	C × V
HSP70 (ng/protein 10 mg)		38.89 ^a	37.38 ^{ab}	35.95 ^{bc}	36.70 ^{bc}	34.82 ^c	36.60 ^{bc}	0.321	0.033	0.019	0.047
MDA content (nmol/protein g)		122.32 ^a	111.78 ^a	115.31 ^a	108.70 ^{ab}	97.48 ^b	95.08 ^b	2.342	0.045	<0.001	0.744

^{a-c} Means in same rows with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

¹ C, catechin; V, vitamin C; C × V, catechin × vitamin C.

HSP70, heat shock protein 70; MDA, malondialdehyde.

SEM, standard error of means.

비타민 C를 급여했을 때, HSP70 유전자 발현이 유의적으로 감소하고 항산화 활성이 증가했다고 보고하였다. 또한 녹차의 카테킨 성분 중 EGCG는 HSP 유전자 발현에 구조적 특이적 억제제로 작용하는 C-말단에 EGCG가 직접 결합하는 메커니즘을 통해 HSP 발현을 효과적으로 억제하는 것으로 보고되었다(Abd El-Hack et al., 2020). 본 연구에서 카테킨과 비타민 C 첨가에 의한 육계 간 내 MDA와 HSP70 농도 감소는 고온 환경에서 육계의 항산화능을 개선시켜 고온스트레스를 완화해준 것으로 사료된다.

6. 가슴육 내 DPPH 라디칼 소거능

고온 환경에서 카테킨과 비타민 C의 단독 및 혼합 첨가에 따른 육계 가슴육 내 DPPH 라디칼 소거능을 비교한 결과를 Table 7에 나타내었다. DPPH 라디칼 소거능은 사료 내 카테킨의 첨가 수준에 따라 대조구보다 높아졌으며($P<0.05$), 비타민 C와 상호작용을 보이는 것으로 나타났($P<0.01$). Wan et al.(2018)은 고온 스트레스($34\pm 1^\circ\text{C}$)를 받은 육계 가슴육의 DPPH 라디칼 소거능이 적온 환경에서 사육된 육계보다 낮았다고 보고하였다. 또한, 녹차 카테킨을 사료 내 보충하였을 때 닭고기 내 DPPH 자유 라디칼에 대한 높은 소거 활성을 확인하였다(Tang et al., 2002). Lee et al.(2005)은

폴리페놀 함량과 자유 라디칼 소거활성은 양의 상관관계가 있다고 보고하고 있으며, 천연 항산화제인 카테킨과 비타민 C의 급여가 고온 환경에서 육계의 항산화능을 높여 가슴육 내 라디칼 소거능을 개선시킨 것으로 판단된다.

7. 직장온도 및 호흡수

고온 환경에서 카테킨과 비타민 C의 단독 및 혼합 첨가에 따른 육계의 호흡수와 직장 온도 결과는 Table 8에 나타내었다. 육계의 직장 온도와 호흡수는 고온환경 노출 전 처리간 차이를 보이지 않았으나, 고온 환경에서 증가하는 경향을 보였다. 고온 환경 7일째인 28일령에 카테킨 처리구에서 직장온도가 낮게 나타났으나($P<0.05$), 종료시점에는 처리간 차이를 보이지 않았다. 분당호흡수는 고온환경기간 동안 카테킨 처리구에서 낮게 나타났으며($P<0.05$), 종료시점에는 카테킨과 비타민 C 처리에서 대조구보다 낮았으나($P<0.05$), 물질 간 상호작용은 보이지 않았다. 육계가 고온스트레스에 노출이 되면 직장 온도가 증가하고, 체온의 항상성을 유지하기 위해 생리 및 행동학적 반응을 보인다(Lara and Rostagno, 2013; Meng et al., 2022). Mack et al.(2013)은 고온 환경에서 육계는 사료 섭취 시간이 감소하고 음수 섭취 시간이 증가하며, 헐떡거리거나 쉬는 행동이 늘어난다고 보

Table 7. Effect of combined supplementation of catechin and vitamin C supplementation on 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity of breast meat of broilers during high temperature

Vitamin C (mg/kg)	0			250			SEM	<i>P</i> -value ¹			
	Catechin (mg/kg)	0	600	1,200	0	600		1,200	C	V	C × V
DPPH radical scavenging activity (%)		38.91 ^c	42.83 ^b	46.82 ^a	44.68 ^{ab}	43.42 ^b	43.83 ^b	0.516	0.002	0.152	<0.001

^{a-c} Means in same rows with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

¹ C, catechin; V, vitamin C; C × V, catechin × vitamin C.

SEM, standard error of means.

Table 8. Effect of combined supplementation of catechin and vitamin C supplementation on rectal temperature (°C) and respiration rate (breaths/min) of broilers during high temperature (days 21-35)

Vitamin C (mg/kg)	0			250			SEM	<i>P</i> -value ¹			
	Catechin (mg/kg)	0	600	1,200	0	600		1,200	C	V	C × V
Rectal temperature (°C)											
d 21		40.63	40.52	40.48	40.50	40.33	40.73	0.04	0.262	0.849	0.125
d 24		41.69	41.63	41.75	41.78	41.68	41.43	0.04	0.166	0.493	0.155
d 28		42.31 ^a	41.66 ^b	42.10 ^{ab}	41.89 ^{ab}	41.98 ^{ab}	42.15 ^{ab}	0.05	0.018	0.345	0.116
d 35		42.17	42.15	42.21	42.11	42.15	42.18	0.04	0.940	0.397	0.959
Respiration rate (breaths/min)											
d 21		61.83	62.25	61.17	60.83	59.95	62.67	0.61	0.853	0.621	0.313
d 24		137.00	129.92	121.00	128.58	126.50	128.40	2.74	0.503	0.792	0.510
d 28		232.83 ^a	202.17 ^b	218.50 ^{ab}	201.17 ^b	217.00 ^{ab}	221.33 ^a	2.72	0.007	0.373	0.015
d 35		254.50 ^a	234.33 ^b	235.67 ^b	225.33 ^b	229.17 ^b	234.60 ^b	2.56	0.030	0.004	0.178

^{a-c} Means in same rows with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

¹C, catechin; V, vitamin C; C × V, catechin × vitamin C.

SEM, standard error of means.

고하였다. 그 중 헐떡거림(Panting)은 가금의 공기 주머니와 몸 사이의 열 교환을 촉진하는 메커니즘을 이용한 행동으로, 공기의 순환을 빠르게 하여 결과적으로 체내 열을 낮추는 데 도움을 준다(Fedde, 1998). Wan et al.(2017)에 따르면 육계에 개똥쭉(*Artemisia annua*) 첨가 급여는 해열 효과가 있다고 보고하였으며, 흑쿠민(*Nigella sativa*) 및 고수(*Coriandrum sativum*) 씨앗 첨가는 헐떡거림 행동 감소, 섭식행동을 증가시켰고(EL-Shoukary et al., 2014), 폴리페놀 물질인 레스베라트롤(Resveratrol)은 직장온도를 현저히 낮추는데 효과가 있었다고 보고하였다(Meng et al., 2022). 본 연구에서도 장기간의 고온스트레스 환경에서 카테킨의 첨가와 비타민 C의 첨가가 육계의 직장온도와 분당 호흡수를 감소시켜 고온스트레스 완화에 도움을 주는 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 고온환경에 노출된 육계의 사료 내 카테킨과 비타민 C의 단독 및 혼합 첨가에 따른 생산성, 계육품질, 혈액 성분 및 스트레스 지표에 미치는 영향을 조사하기 위해 수행하였다. 21일령 육계(Ross 308) 수컷 360수를 공시하였으며, 처리구는 비타민 C(0, 250 mg/kg)와 카테킨(0, 600, 1,200 mg/kg)로 2 × 3요인으로 나누었으며, 처리당 6반복,

반복당 10수를 완전임의 배치하였다. 고온 환경은 32±1°C로, 습도는 60±5%를 유지하여 시험종료까지 24시간동안 노출시켰다. 카테킨과 비타민 C의 처리에 따른 증체량, 섭취량 및 사료요구율은 유의적인 차이를 보이지 않았다. 혈액 생화학 성분 중 total cholesterol 함량은 카테킨 처리에서 낮게 나타났으나($P < 0.05$), 비타민 C와 상호작용은 보이지 않았다. 혈액 내 SOD 활성은 카테킨 처리구에서 높았으며, corticosterone과 IgM 수준은 낮게 나타났으나($P < 0.05$), 비타민 C와 상호작용은 보이지 않았다. 간 내 스트레스 지표로 HSP70과 MDA는 비타민 C와 카테킨의 첨가에 따라 감소하였으며($P < 0.05$), HSP70에서 상호작용을 보였다($P < 0.05$). 가슴육 내 DPPH 라디칼 소거능은 카테킨을 급여한 처리에서 증가하였다($P < 0.05$). 고온스트레스에 대한 행동지표인 호흡수는 카테킨 처리에서 감소하는 것으로 나타났으나($P < 0.05$), 비타민 C와의 상호작용은 보이지 않았다. 결론적으로 고온 환경에서 육계의 카테킨과 비타민 C의 첨가는 HSP70, MDA와 같은 스트레스 지표를 완화시켰으나, 첨가 물질 간 상호작용과 최적의 혼합 수준에 대해 추가 연구가 요구된다.

(색인어 : 카테킨, 비타민C, 첨가제, 고온스트레스, 육계)

사 사

본 연구는 2022년 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업과 농촌진흥청의 공동연구사업(과제번호: PJ01502303)에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

ORCID

Jiseon Son	https://orcid.org/0000-0002-5285-8186
Woo-Do Lee	https://orcid.org/0000-0003-4861-4637
Hee-Jin Kim	https://orcid.org/0000-0002-6959-9790
Hyun-Soo Kim	https://orcid.org/0000-0001-8887-1318
Eui-Chul Hong	https://orcid.org/0000-0003-1982-2023
Iksoo Jeon	https://orcid.org/0000-0002-5898-7050
Hwan-Ku Kang	https://orcid.org/0000-0002-4286-3141

REFERENCES

- Abdulameer YS 2019 The effects of dietary vitamin C and *Citrus sinensis* peel on growth, hematological characteristics, immune competence, and carcass characteristics in broilers exposed to heat stress. *Iraqi J Vet Sci* 32(2):253-260.
- Abbas A, Iqbal Z, Abbas RZ, Khan MK, Khan JA, Hussain K, Mahmood MS, Rizwan HM 2017 Immunomodulatory effects of *Camellia sinensis* against coccidiosis in chickens. *JAPS* 27(2):415-421.
- Abd El-Hack ME, Elnesr SS, Alagawany M, Gado A, Noreldin AE, Gabr AA 2020 Impact of green tea (*Camellia sinensis*) and epigallocatechin gallate on poultry. *Worlds Poult Sci J* 76(1):49-63.
- Abd El-Hady AM, El Ashry GM, El-Ghalid OAH 2019 Effect of natural phytogenic extract herbs on physiological status and carcass traits of broiler chickens. *Open J Anim Sci* 10(1):134-151.
- Abdel-raheim M, Meki A, Hamed EA, Ezam KA 2009 Effect of green tea extract and vitamin C on oxidant or antioxidant status of rheumatoid arthritis rat model. *Indian J Clin Biochem* 24(3):280.
- Abdel Tawwab M, Ahmad MH, Seden ME, Sakr SF 2010 Use of green tea, *Camellia sinensis* L., in practical diet for growth and protection of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), against *Aeromonas hydrophila* infection. *JWAS* 41:203-213.
- Abdo ZM, Hassan RA, El-Salam AA, Helmy SA 2010 Effect of adding green tea and its aqueous extract as natural antioxidants to laying hen diet on productive, reproductive performance and egg quality during storage and its content of cholesterol. *Egypt Poult Sci J* 30(4):1121-1149.
- Aerts JM, Berckmans D, Saevels P, Decuyper E, Buyse, J 2000 Modelling the static and dynamic responses of total heat production of broiler chickens to step changes in air temperature and light intensity. *Br Poult Sci* 41(5):651-659.
- Ajarem J, Rashedi GA, Mohany M, Allam A 2017 Neurobehavioral changes in mice offspring exposed to green tea during fetal and early postnatal development. *Behav Brain Funct* 13(1):1-14.
- Attia YA, Al-Harhi MA 2015 Nigella seed oil as an alternative to antibiotic growth promoters for broiler chickens. *Europ Poult Sci* 79(80):1-13.
- Attia YA, El-Hamid ABD, Abedalla AA, Berika MA, Al-Harhi MA, Kucuk O, Sahin K, Abou-Shehema BM 2016 Laying performance, digestibility and plasma hormones in laying hens exposed to chronic heat stress as affected by betaine, vitamin C, and/or vitamin E supplementation. *Springerplus* 5(1):1-12.
- Biswas AH, Wakita M 2001 Effect of dietary Japanese green tea powder supplementation on feed utilization and carcass profiles in broilers. *J Poult Sci* 38(1):50-57.
- Chang Q, Lu Y, Lan R 2020 Chitosan oligosaccharide as an effective feed additive to maintain growth performance, meat quality, muscle glycolytic metabolism, and oxidative status in yellow-feather broilers under heat stress. *Poult Sci* 99(10):4824-4831.
- Chen J, Kang B, Yao K, Fu C, Zhao Y 2019 Effects of dietary *Macleaya cordata* extract on growth performance, immune responses, antioxidant capacity, and intestinal development in weaned piglets. *J Appl Anim Res* 47(1):349-356.
- Deeb N, Cahaner A 2002 Genotype-by-environment interaction with broiler genotypes differing in growth rate. 3. Growth rate and water consumption of broiler progeny from weight-selected versus nonselected parents under normal and high ambient temperatures. *Poult Sci* 81(3):293-301.
- Donsi F, Annunziata M, Sessa M, Ferrari G 2011

- Nanoencapsulation of essential oils to enhance their antimicrobial activity in foods. *LWT - Food Sci Technol* 44(9):1908-1914.
- EL-Shoukary RD, Darwish MH, Abdel-Rahman MA 2014 Behavioral, performance, carcass traits and hormonal changes of heat stressed broilers feeding black and coriander seeds. *J Adv Vet Res* 4(3):97-101.
- Elagib HAA, El-Amin WIA, Elamin KM, Malik HEE 2013 Effect of dietary garlic (*Allium sativum*) supplementation as feed additive on broiler performance and blood profile. *J Anim Sci Adv* 3(2):58-64.
- Erener G, Ocak N, Altop A, Cankaya S, Aksoy HM, Ozturk E 2011 Growth performance, meat quality and caecal coliform bacteria count of broiler chicks fed diet with green tea extract. *Asian-Australas J Anim Sci* 24(8):1128-1135.
- Erfani M, Eila N, Zarei A, Noshary A 2021 The effects of vitamin C and methionine hydroxy analog supplementation on performance, blood parameters, liver enzymes, thyroid hormones, antioxidant activity of blood plasma, intestine morphology, and HSP70 gene expression of broilers under heat stress. *Trop Anim Health Prod* 53(2):1-11.
- Fang X, Azain M, Crowe-White K, Mumaw J, Grimes JA, Schmiedt C, Barletta M, Rayalam S, Park HJ 2019 Effect of acute ingestion of green tea extract and lemon juice on oxidative stress and lipid profile in pigs fed a high-fat diet. *Antioxidants* 8(6):195.
- Farahat M, Abdallah F, Abdel-Hamid T, Hernandez-Santana A 2016 Effect of supplementing broiler chicken diets with green tea extract on the growth performance, lipid profile, antioxidant status and immune response. *Br Poult Sci* 57(5):714-722.
- Fedde MR 1998 Relationship of structure and function of the avian respiratory system to disease susceptibility. *Poult Sci* 77(8):1130-1138.
- Feng J, Zhang M, Zheng S, Xie P, Ma A 2008 Effects of high temperature on multiple parameters of broilers *in vitro* and *in vivo*. *Poult Sci* 87(10):2133-2139.
- Fouad A, Chen W, Ruan D, Wang S, Xia W, Zheng C 2016 Impact of heat stress on meat, egg quality, immunity and fertility in poultry and nutritional factors that overcome these effects: a review. *Int J Poult Sci* 15(3):81.
- Gomes AVS, Quinteiro-Filho WM, Ribeiro A, Ferraz-de-Paula V, Pinheiro ML, Baskeville E, Akamine AT, Astolfi-Ferreira CS, Palermo-Neto, J 2014 Overcrowding stress decreases macrophage activity and increases *Salmonella* Enteritidis invasion in broiler chickens. *Avian pathol* 43(1):82-90.
- Gonet NA, Sandercock DA, Mitchell MA 2000 A comparison of thermoregulatory capacity in three lines of female broiler breeders. *Br Poult Sci* 41(5):700-701.
- Gu X, Li S, Lin H 2008 Effects of hot environment and dietary protein level on growth performance and meat quality of broiler chickens. *Asian-Australas J Anim Sci* 21(11):1616-1623.
- Guo X, Ma C, Fang Q, Zhou B, Wan Y, Jiang R 2016 Effects of ovariectomy on body measurements, carcass composition, and meat quality of Huainan chickens. *Anim Prod Sci* 57(5):815-820.
- Hillebrand SJW, Lambooy E, Veerkamp CH 1996 The effects of alternative electrical and mechanical stunning methods on hemorrhaging and meat quality of broiler breast and thigh muscles. *Poult Sci* 75(5):664-671.
- Hirasawa M, Takada K 2004 Multiple effects of green tea catechin on the antifungal activity of antimycotics against *Candida albicans*. *J Antimicrob Chemother* 53(2):225-229.
- Honda BTB, Calefi AS, Costola-de-Souza C, Quinteiro-Filho WM, da Silva Fonseca JG, de Paula VF, Palermo-Neto J 2015 Effects of heat stress on peripheral T and B lymphocyte profiles and IgG and IgM serum levels in broiler chickens vaccinated for Newcastle disease virus. *Poult Sci* 94(10):2375-2381.
- Hu R, He Y, Arowolo MA, Wu S, He J 2019 Polyphenols as potential attenuators of heat stress in poultry production. *Antioxidants* 8(3):67.
- Hyun JY, Nam JH, Kim D, Chun JY 2021 Quality characteristics of emulsion chicken breast sausages with *Protaetia brevitaris* larvae powder. *Food Eng Prog* 25:428-435.
- Ikeda I, Imasato Y, Sasaki E, Nakayama M, Nagao H, Takeo T, Yayabe F, Sugano M 1992 Tea catechins decrease micellar solubility and intestinal absorption of cholesterol in rats. *BBA-Lipids and Lipid Metabolism* 1127(2):141-146.
- Jang IS, Ko YH, Moon YS, Sohn SH 2014 Effects of vitamin C or E on the pro-inflammatory cytokines, heat

- shock protein 70 and antioxidant status in broiler chicks under summer conditions. *Asian-Australas J Anim Sci* 27(5):749.
- Kara KANBER, Şentürk MERYEM, Guclu BK, Sariözkan SAVAŞ, Eren MERYEM 2016 Effect of catechins on fattening performance, meat quality, some antioxidant and blood parameters and fattening costs in Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Br Poult Sci* 57(4):522-530.
- Khalaji S, Zaghari M, Hatami KH, Hedari-Dastjerdi S, Lotfi L, Nazarian H 2011 Black cumin seeds, *Artemisia* leaves (*Artemisia sieberi*), and *Camellia* L. plant extract as phytogetic products in broiler diets and their effects on performance, blood constituents, immunity, and cecal microbial population. *Poult Sci* 90(11):2500-2510.
- Khattak FM, Acamovic T, Sparks N, Pasha TN, Joiya MH, Hayat Z, Ali Z 2012 Comparative efficacy of different supplements used to reduce heat stress in broilers. *Pak J Zool* 44(1):31.
- Kim HJ, Kim HJ, Jeon JJ, Oh SJ, Nam KC, Shim KS, Jung JH, Kim KS, Choi YI, Kim SH, Jang, A 2018 Comparison of quality and bioactive compounds in chicken thigh meat from conventional and animal welfare farm in Korea. *Korean J Poult Sci* 45(4):261-272.
- Kucuk O, Sahin N, Sahin K 2003 Supplemental zinc and vitamin A can alleviate negative effects of heat stress in broiler chickens. *Biol Trace Elem Res* 94(3):225-235.
- Lan PTN, Sakamoto M, Benno Y 2004 Effects of two probiotic *Lactobacillus* strains on jejunal and cecal microbiota of broiler chicken under acute heat stress condition as revealed by molecular analysis of 16S rRNA genes. *Microbiol Immunol* 48(12):917-929.
- Lara LJ, Rostagno MH 2013 Impact of heat stress on poultry production. *Animals* 3(2):356-369.
- Lauridsen C 2019 From oxidative stress to inflammation: redox balance and immune system. *Poult Sci* 98(10):4240-4246.
- Lee BW, Lee JH, Lee ST, Lee HS, Lee WS, Jeong TS, Park KH 2005 Antioxidant and cytotoxic activities of xanthenes from *Cudrania tricuspidata*. *Bioorg Med Chem Lett* 15(24):5548-5552.
- Lee WD, Kothari D, Moon SG, Kim J, Kim KI, Ga GW, Kim YG, Kim, SK 2022 Evaluation of non-fermented and fermented Chinese chive juice as an alternative to antibiotic growth promoters of broilers. *Animals* 12(20):2742.
- Liew PK, Zulkifli I, Hair-Bejo M, Omar AR, Israf DA 2003 Effects of early age feed restriction and heat conditioning on heat shock protein 70 expression, resistance to infectious bursal disease, and growth in male broiler chickens subjected to heat stress. *Poult Sci* 82(12):1879-1885.
- Lin H, Du R, Gu XH, Li FC, Zhang ZY 2000 A study on the plasma biochemical indices of heat-stressed broilers. *Asian-Australas J Anim Sci* 13(9):1210-1218.
- Lin H, Sui S, Jiao H, Buyse J, Decuypere E 2006 Impaired development of broiler chickens by stress mimicked by corticosterone exposure. *Comp Biochem Physiol Part A Mol Integr Physiol* 143(3):400-405.
- Madkour M, Salman FM, El-Wardany I, Abdel-Fattah SA, Alagawany M, Hashem NM, Abdelnour SA, El-Kholy MS, Dhama K, Dhama K 2021 Mitigating the detrimental effects of heat stress in poultry through thermal conditioning and nutritional manipulation. *J Therm Biol* 103:103169.
- Mazur-Kuśnerek M, Antoszkiewicz Z, Lipiński K, Kaliniewicz J, Kotlarczyk S, Żukowski P 2019 The effect of polyphenols and vitamin E on the antioxidant status and meat quality of broiler chickens exposed to high temperature. *Arch Anim Nutr* 73(2):111-126.
- Mack LA, Felver-Gant JN, Dennis RL, Cheng HW 2013 Genetic variations alter production and behavioral responses following heat stress in 2 strains of laying hens. *Poult Sci* 92(2):285-294.
- Meng T, Deng J, Xiao D, Arowolo MA, Liu C, Chen L, Deng W, He S, He J 2022 Protective effects and potential mechanisms of dietary resveratrol supplementation on the spleen of broilers under heat stress. *Front Nutr* 9:821272.
- Mitsumoto M, O'Grady MN, Kerry JP, Buckley DJ 2005 Addition of tea catechins and vitamin C on sensory evaluation, colour and lipid stability during chilled storage in cooked or raw beef and chicken patties. *Meat Sci* 69(4):773-779.
- Park S, Kim W 2017 Effects of betaine on biological functions in meat-type ducks exposed to heat stress. *Poult Sci* 96(5):1212-1218.
- Peters CM, Green RJ, Janle EM, Ferruzzi MG 2010 Formulation with ascorbic acid and sucrose modulates

- catechin bioavailability from green tea. *Int Food Res J* 43(1):95-102.
- Rafiee F, Mazhari M, Ghoreishi M, Esmacilipour O 2016 Effect of *Lemon verbena* powder and vitamin C on performance and immunity of heat stressed broilers. *J Anim Physiol Anim Nutr* 100(5):807-812.
- Reis JH, Gebert RR, Barreta M, Baldissera MD, Dos Santos ID, Wagner R, Campigotto G, Jaguezeski AM, Gris A, de Lima JLF, Mendes RE, Fracasso M, Bioago MM, Stefani LM, dos Santos DS, Robazza WS, Da Silva AS 2018 Effects of phytogetic feed additive based on thymol, carvacrol and cinnamic aldehyde on body weight, blood parameters and environmental bacteria in broilers chickens. *Microb Pathog* 125:168-176.
- Saraee MHA, Seidavi A, Dadashbeiki M, Laudadio V, Tufarelli V 2015 Supplementing fish oil and green tea (*Camellia sinensis*) powder in broiler diet: effects on productive performance. *Res Opin Anim Vet Sci* 5(2):99-104.
- Shakeri M, Oskoueian E, Le HH, Shakeri M 2020 Strategies to combat heat stress in broiler chickens: unveiling the roles of selenium, vitamin E and vitamin C. *Vet Sci* 7(2):71.
- Shini S, Huff G, Shini A, Kaiser P 2010 Understanding stress-induced immunosuppression: exploration of cytokine and chemokine gene profiles in chicken peripheral leukocytes. *Poult Sci* 89(4):841-851.
- Shomali T, Mosleh N, Nazifi S 2012 Two weeks of dietary supplementation with green tea powder does not affect performance, D-xylose absorption, and selected serum parameters in broiler chickens. *Comp Clin Path* 21(5):1023-1027.
- Skrzydłewska E, Ostrowska J, Farbiszewski R, Michalak K 2002 Protective effect of green tea against lipid peroxidation in the rat liver, blood serum and the brain. *Phytomedicine* 9(3):232-238.
- Son J, Kim HJ, Hong EC, Kang HK 2022 Effects of stocking density on growth performance, antioxidant status, and meat quality of finisher broiler chickens under high temperature. *Antioxidants* 11(5):871.
- Son J, Lee WD, Kim HJ, Kang BS, Kang HK 2022 Effect of providing environmental enrichment into aviary house on the welfare of laying hens. *Animals* 12(9):1165.
- Tang SZ, Kerry JP, Sheehan D, Buckley DJ 2002 Antioxidative mechanisms of tea catechins in chicken meat systems. *Food Chem* 76(1):45-51.
- Uuganbayar D, Bae IH, Choi KS, Shin IS, Firman JD, Yang CJ 2005 Effects of green tea powder on laying performance and egg quality in laying hens. *Asian-Australas J Anim Sci* 18(12):1769-1774.
- Wan X, Ahmad H, Zhang L, Wang Z, Wang T 2018 Dietary enzymatically treated *Artemisia annua* L. improves meat quality, antioxidant capacity and energy status of breast muscle in heat stressed broilers. *J Sci Food Agr* 95(10):3715-3721.
- Wan X, Jiang L, Zhong H, Lu Y, Zhang L, Wang T 2017 Effects of enzymatically treated *Artemisia annua* L. on growth performance and some blood parameters of broilers exposed to heat stress. *Anim Sci J* 88(8):1239-1246.
- Wasti S, Sah N, Mishra B 2020 Impact of heat stress on poultry health and performances, and potential mitigation strategies. *Animals* 10(8):1266.
- Woelfel RL, Owens CM, Hirschler EM, Martinez-Dawson R, Sams AR 2002 The characterization and incidence of pale, soft, and exudative broiler meat in a commercial processing plant. *Poult Sci* 81(4):579-584.
- Yokozawa T, Nakagawa T, Kitani K 2002 Antioxidative activity of green tea polyphenol in cholesterol-fed rats. *J Agric Food Chem* 50(12):3549-3552.
- Zarezadeh S, Rustaei AM, Alizadeh A, Mohammadi QM 2013 The effect of adding green tea and fish oil to the diet of broiler chickens on performance and humoral immune response against Newcastle. *Anim Prod Res* 1:1-13.
- Zheng XX, Xu YL, Li SH, Liu XX, Hui R, Huang XH 2011 Green tea intake lowers fasting serum total and LDL cholesterol in adults: a meta-analysis of 14 randomized controlled trials. *Am J Clin Nutr* 94(2):601-610.