

## 폭염 브로일러 닭의 혈액지질 및 짧은 사슬지방산에 대한 폭염사료와 역전점등 효과

박상오<sup>1†</sup> · 황보종<sup>2‡</sup> · 박병성<sup>1†</sup> · 최희철<sup>2</sup>

강원대학교 동물생명공학과<sup>1</sup>, 국립축산과학원 가금과<sup>2</sup>  
(2013년 8월 7일 접수; 2013년 9월 24일 수정; 2013년 9월 24일 채택)

### Effects of inverse lighting and extreme heat diet on short chain fatty acid and blood lipid profile in extreme heat stress-exposed broilers

Sang-Oh Park<sup>1†</sup> · Jong Hwangbo<sup>2‡</sup> · Byung-Sung Park<sup>1†</sup> · Hee-Chul Choi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Animal Biotechnology, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Republic of Korea, <sup>2</sup>National Institute of Animal Science, RDA, Suwon 441-706, Republic of Korea  
(Received August 7, 2013 ; Revised September 24, 2013 ; Accepted September 24, 2013)

**Abstract :** This study was carried out to investigate the effects of feeding the broilers that are exposed to extreme heat stress by control of inverse lighting times with night restricted feeding of extreme heat diet(EHD1, 2: extreme heat diet) containing different amount of soy oil, molasses, amino acids and vitamin C on short chain fatty acid and blood lipid profile. 300 broiler chickens(Abaica strain) were randomized into four dietary treatment groups according to a randomized block design on the day they were hatched. The four dietary treatment groups were: T1(EHD 1, 10:00~19:00 Dark, 19:00~10:00 Light), T2(EHD 2, 10:00~19:00 Dark, 19:00~10:00 Light), T3(EHD 1, 09:00~18:00 Dark, 18:00~09:00 Light), T4(EHD 2, 09:00~18:00 Dark, 18:00~09:00 Light). The body weight gain of the broilers was highest in T2, and high in order T1, T4, T3(p<0.05). Weights of the lymphoid organ, thymus and bursa of Fabricius were high in T1, T2 as compared to T3, T4 but spleen was lower in T4 than T1, T2, T3(p<0.05). Blood triglyceride, total cholesterol and glucose were higher in T1, T2 than T3, T4(p<0.05). LDL-C was high in order T4, T3, T2, T1 but HDL-C showed the opposite trend(p<0.05). Blood concentrations of IgG, IgG and IgM were higher in T1, T2 than in T3, T4, but the corticosterone concentration decreased significantly in them. In T1 and T2, *Lactobacillus* in the feces increased, but total aerobic bacteria, *E.coli*, coliform bacteria was decreased rather significantly, compared with those in T3 and T4(p<0.05). Concentrations of acetic acid, propionic acid and total SCFA in cecum were high in order T2, T1, T3, T4, but butyric acid, isobutyric acid, valeric acid, isovaleric acid were lower in T1, T2 than in T3, T4 (p<0.05).

<sup>†</sup>Corresponding author  
(E-mail : bspark@kangwon.ac.kr)

*Keywords* : Extreme heat diet, inverse lighting, blood lipid, immunoglobulin, corticosterone, short chain fatty acid.

## 1. 서론

양계에서 열 스트레스는 닭에 대하여 산화적 스트레스를 일으키고 성장능력을 나쁘게 한다는 사실은 잘 알려져 있다. 여름철 폭염 스트레스는 닭의 체온상승을 초래하여 사료섭취량을 낮추고 동시에 음수량 증가, 활동량 감소로 인한 성장능력 감소 및 높은 희생을 초래하여 농가의 경제적 피해를 가중시킨다[1]. 브로일러의 성장에 가장 적합한 온도는 21°C 정도이고 성숙한 닭의 체온은 41~42°C이다. 닭은 피부에 땀샘이 없고 깃털로 덮여있기 때문에 고온에 노출되면 체온유지를 위해서 헐떡거리는 개구호흡(panting)을 하며 결과적으로 폭염은 닭의 희생을 초래한다[2, 3]. 닭은 환경온도가 올라갈 때 급격한 체온 상승이 나타나며 폭염 스트레스 하에서 사료섭취량과 대사가 낮아지고 체중 감소 및 희생율이 증가한다. 환경온도가 32°C까지 올라가면 열 스트레스가 발생하고 희생율을 영향을 받지 않지만 37°C까지 올라가면 희생율이 증가하는 것으로 관찰되었다[4]. 성장하는 브로일러에서 체중과 열 스트레스에 대한 저항성 사이에는 부의 표현형 상관이 보고되었으며 32°C에 노출된 브로일러는 사료섭취량이 24% 감소한다[5]. 폭염은 브로일러의 면역세포의 발육, 혈액 면역물질, 장내 유익한 미생물과 짧은 사슬지방산은 저하시키고 유해한 미생물은 증식시켜서 스트레스를 가중시킨다[6].

폭염 스트레스에 대한 역효과를 완화시키기 위한 환경요인으로써 점등조절, 사료제한 급여와 함께 중요한 몇 가지 영양학적 전략을 검토한 결과가 있다[7-9]. 닭에서 점등조절, 빛은 브로일러의 성장능력을 자극하는 중요한 환경요인이다. 열 스트레스 하에서 대두유, 당밀, 메티오닌, 리신, 비타민 C의 조화된 공급은 열 스트레스를 완화하는 것으로 알려졌다[3, 6, 7]. 그러나, 폭염 스트레스에 노출된 브로일러에서 이러한 영양소를 함유하는 폭염사료와 점등조절 사이의 상호작용에 의한 성장능력 개선효과에 관한 결과는 부족하다. 저자들은 선행연구에서 정상환경 조건에서 24시간 연속조명으로 사육된 닭과 비교하였을 때 폭염에 노출된 브로일러에서 사료섭취량 감소와 함께 체

중감소를 보고하였으며, 폭염 시 주간절식 및 역전점등(12D:12L, 암 08:00~20:00, 명 20:00~08:00)과 함께 폭염사료의 야간 제한급여가 브로일러의 체중 증가량을 개선시킨 것으로 보고하였다[6, 7].

본 연구는 후속연구로써 폭염 스트레스에 노출된 브로일러의 성장능력에 관한 폭염사료와 함께 실행한 역전점등 시간조절의 상호작용 효과를 조사한 결과이다.

## 2. 실험

### 2.1. 실험설계

부화당일 아바이카 병아리 300 마리를 한양부화장(경기 이천)으로부터 공급받았다. 처리구는 4개로써처리구 당 3반복 (반복 펜 1.65 m<sup>2</sup> 당 25 마리)으로 완전 임의배치 하였다. 처리구는 선행연구 결과(역전점등 12D:12L, 08:00~20:00 Dark, 20:00~08:00 Light)을 기초로 해서[7] 서로 다른 폭염사료 급여와 함께 역전점등 시간을 변경하여 조절한(9D:15L) 4개로 구분하였다.: T1(폭염사료 1, 10:00~19:00 Dark, 19:00~10:00 Light), T2(폭염사료 2, 10:00~19:00 Dark, 19:00~10:00 Light), T3(폭염사료 1, 09:00~18:00 Dark, 18:00~09:00 Light), T4(폭염사료 2, 09:00~18:00 Dark, 18:00~09:00 Light).

### 2.2. 실험사료, 사양관리 및 성장능력

실험 기초사료는 옥수수, 대두박을 비롯한 곡물원료는 (주)홍성사료에서 사용하는 수입산을 구입하여 사용하였으며 조단백질과 대사에너지 함량이 동일하도록 조절하였으며 NRC 영양소요구량[10]을 충족 또는 약간 초과하도록 배합하였다 (Table 1). 폭염사료(폭염저항성 영양소 함유사료) 1은 곡물원료+대두유 5%+당밀 2%+메티오닌 0.45%+리신 0.45%, 폭염사료 2는 곡물원료+대두유 5%+당밀 2%+메티오닌 0.45%+리신 0.45%+비타민 C 200 ppm를 각각 혼합해서 배합하였다. 폭염사료에 첨가되는 에너지 급원인 우

Table 1. Composition of experimental diets for broiler chickens

Ingredients (% as-fed)	Diets		
	Starter T1-T4 (1-21 days)	Grower T1, T3 (22-32days)	Grower T2, T4 (22-32days)
Yellow corn	52.00	47.70	47.70
Soybean meal, 44% CP	34.00	25.00	25.00
Corn gluten meal	4.70	5.70	5.70
Wheat meal	-	10.00	10.00
Tallow	5.00	-	-
Soy oil	-	5.00	5.00
Molasses	-	2.00	2.00
Limestone	1.25	1.25	1.25
Dicalcium phosphate	1.70	1.70	1.70
Sodium chloride	0.25	0.25	0.25
DL-Met, 50%	0.30	0.45	0.45
L-Lys HCl, 78%	0.30	0.45	0.45
Trace mineral premix <sup>1)</sup>	0.34	0.34	0.34
Vitamin premix <sup>2)</sup>	0.16	0.16	0.16
Vit. C	-	-	0.02
Total	100	100	100
Chemical composition			
ME, kcal/kg	3,100	3,150	3,150
CP, %	22.00	20.00	20.00
Lys, %	1.32	1.15	1.15
Met, %	0.52	0.50	0.50
Met+Cys, %	0.78	0.73	0.73
Ca, %	1.00	0.90	0.90
Available P, %	0.45	0.40	0.40

<sup>1)</sup> Supplied per kilogram of diet: Fe, 80 mg; Zn, 80 mg; Mn, 70 mg; Cu, 7 mg; I, 1.20 mg; Se, 0.30 mg; Co, 0.70 mg.

<sup>2)</sup> Supplied per kilogram of diet: vitamin A (retinyl acetate), 10,500 IU; vitamin D<sub>3</sub>, 4,100 IU; vitamin E (DL- $\alpha$ -tocopheryl acetate), 45 mg; vitamin K<sub>3</sub>, 3.0 mg; thiamin, 2.5 mg; riboflavin, 5mg; vitamin B<sub>6</sub>, 5 mg; vitamin B<sub>12</sub>, 0.02 mg; biotin, 0.18 mg; niacin, 44 mg; pantothenic acid, 17 mg; folic acid, 1.5 mg.

지는 이용율, 기호성, 필수지방산이 높은 대두유로써 대체 및 당밀을 추가하였다. 메티오닌, 리신, 비타민 C를 대조군 사료 내 첨가수준보다 높게 조절하였으며 폭염사료 제조 시 영양소 급원의 첨가에 따른 실제 사료 원료의 구성비는 옥수수율을 줄여서 배합하였다. 육계전기(0~21일) 동안에는 표준환경(22~25°C)에서 24시간 연속조명과 함께 일반음수(25~26°C) 및 육계 전기사료를 자

유롭게 섭취하게 하였다. 깔짚은 왕겨를 각 펜의 바닥 10 cm 높이로 깔아주었으며 사육실의 온도는 입추당일에서 3일까지는 33°C로 유지하였고 그 다음부터 주당 2~3°C씩 낮췄다. 육계후기(22~32일) 동안에는 폭염사료를 급여하였으며 폭염 전 6일(22~27일)은 표준환경(22~25°C)에서 12시간 조명(08:00~20:00 Light)과 함께 일반음수(25~26°C)와 폭염사료를 무제한 급여하였다.

실험종료 5일(28~32일) 동안에는 폭염환경 부여와 동시에 폭염사료를 2회로 구분하여 야간 제한급여(18:00~09:00) 하였다. 폭염조건은 일일 5시간(11:00~16:00)씩 열스트레스 ( $33 \pm 1^\circ\text{C}$ )와 함께 상대습도 70%를 유지하면서 점등조절을 실시하였으며 폭염부여 동안 환기는 실시하지 않았다. 일일 폭염부여 실험이 끝나면 환기와 동시에 표준환경( $22\text{--}25^\circ\text{C}$ )을 유지하였다. 동물실험을 위한 과학적, 윤리적인 절차는 유럽실험동물취급면허교재에서 제시된 규정을 준수하였으며[18] 강원대학교 동물실험윤리위원회로부터 승인을 얻었다. 실험기간 동안 사료섭취량, 체중을 10일 간격으로 측정, 기록하였으며 전체 기간 중 성장능력을 체중 증가량, 사료섭취량 및 사료효율(체중 증가량/사료섭취량)로써 나타냈다.

### 2.3. 도계, 조직 및 혈액채취

도계 12시간 전에 실험사료를 철화하였고 실험종료 시에 각 처리구의 반복 펜으로부터 평균 체중에 가까운 브로일러 15마리 (각 펜 당 5마리)를 선별하여 채혈 후 실험동물 안락사 권장에 따라서 경추탈골에 의해서 스트레스를 주지 않고 안정적으로 희생하였다[7]. 간, 근육, 흉선, 비장, F낭을 채취하여 생리식염수에 담근 후 여과지를 이용하여 물기를 제거하고 무게를 측정, 기록하였다. 혈액 3 mL를 plain tubes (Greiner Co Ltd, Australia) 속으로 심장을 경유하여 각 조류로부터 얻었다. 혈액 시료를  $4^\circ\text{C}$ 에서 20분간 3,000 rpm으로 원심분리하여 혈청을 분리하였다.  $-19.6^\circ\text{C}$ 의 액체질소에서 급속동결 한 다음 생화학적 분석 시까지  $-20^\circ\text{C}$ 에서 보관하였다.

### 2.4. 혈액 지질 및 면역물질

혈액 지질, 중성지방, 총콜레스테롤, LDL-C, HDL-C, 혈당은 효소kit(Sigma, USA)으로 측정하였다. 면역물질, IgG, IgA, IgM 농도는 chicken ELISA kit (Bethyl Laboratories, Montgomery, TX, USA)를 이용하여 정량하였다. 제조사의 프로토콜에 따라서 처리한 다음 precision microplate reader (Molecular Devices Inc, New York, USA)에 의해서 450 nm에서 흡광도를 측정하여 항체 양을 계산하였다.

### 2.5. 혈액 코르티코스테론

혈액 중의 스트레스 호르몬, Corticosterone은 HS EIA kit (Enzymeimmunoassay kit, IDS,

Ltd., Boldon, UK)을 사용하여 제조사의 매뉴얼에 따라서 정량하였다.

### 2.6. 짧은 사슬지방산

희생한 닭으로부터 맹장을 혐기적인 방법에 의해서 채취하였다. 시료량이 적었기 때문에 처리구당 3반복 시료로써 조절하기 위해서 반복 펜 당 5개 시료를 한군데 모아서 하나의 시료로 조절하였다. 짧은 사슬지방산 (Short chain fatty acid, SCFA)을 Gas chromatographic system (model GC-15A, Shimadzu Corp., Kyoto, Japan)에 의해서 측정하였다. 20 mL 스크류캡튜브 속으로 맹장내용물 5 g을 넣어서 증류수 5 mL와 혼합하였다. Ultra turrax를 이용하여 균질화 후  $4^\circ\text{C}$  10,000 rpm에서 10분간 원심분리하였다. 원심분리 후 상정액 1 mL를 앰플병으로 옮긴 후 0.2 mL의 25%  $\text{H}_3\text{PO}_4$  용액을 첨가하여 산성화하였다. 시료를 균질화한 다음에 앰플병을 30분 이상 열음 위에서 유지하였다. GC 분석하기 전에 10,000 rpm에서 10분간 원심분리하였다. GC는 불꽃이온화검출기와 Chromosorb WAW에 10% SP-1000/1%  $\text{H}_3\text{PO}_4$ 으로 충전된 Glass column ( $180\text{cm} \times 4\text{mm}$ , Supelco, Inc., Bellefonte, PA)가 부착되었으며 칼럼은 운반가스로서 고순도  $\text{N}_2$  ( $1.8\text{ mL/min}$ )와 함께  $100\text{--}150^\circ\text{C}$ 에서 운전하였다. Flow rate는  $33\text{ mL/min}$ 이었다. 표준물질의 피크와 각 시료에서 측정된 피크를 비교해서 개개 지방산을 확인한 다음 면적비율로써 짧은 사슬지방산을 계산하였다 (Fig. 1).

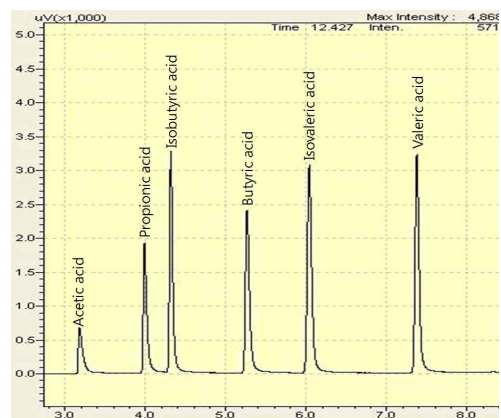


Fig. 1. Chromatogram of standard peak for determination of short fatty acids in cecal content.

Table 3. Weight of lymphoid organs in broiler chickens exposed to extreme heat stress

Item <sup>2</sup>	Groups <sup>1</sup>			
	T1	T2	T3	T4
Liver	3.39±0.51 <sup>ns</sup>	3.15±0.30	3.09±0.23	3.11±0.25
Thymus	0.20±0.01 <sup>a</sup>	0.21±0.02 <sup>a</sup>	0.17±0.01 <sup>b</sup>	0.17±0.01 <sup>b</sup>
Spleen	0.19±0.02 <sup>a</sup>	0.18±0.05 <sup>a</sup>	0.18±0.05 <sup>a</sup>	0.15±0.04 <sup>b</sup>
Bursa of Fabricius	0.22±0.07 <sup>a</sup>	0.22±0.03 <sup>a</sup>	0.17±0.02 <sup>b</sup>	0.18±0.05 <sup>b</sup>
Gizzard	1.89±0.47 <sup>ns</sup>	1.93±0.28	1.82±0.10	1.87±0.20

<sup>1</sup>The same as Table 1. <sup>2</sup>Liver, gizzard is % weight against body weight. Thymus, spleen, bursa of Fabricius is % weight against carcass weight. <sup>ns</sup>No significant(p>0.05). <sup>a,b</sup>p<0.05.

## 2.7. 분변 미생물

각 처리구 당 폭염에 노출된 브로일러 15마리 (각 펜 당 5마리)를 선별하여 분변을 채취하였다. 멸균된 생리식염수 (phosphorus buffered saline; PBS 0.1 M, pH 7.0)로 혼합하여 10배 희석 (1:9, wt/vol) 한 다음에 일련의 희석을 계속하였다. 배양은 희석된 10<sup>-2</sup>~10<sup>-7</sup>에서 각각 100 µL

를 분주하여 멸균된 평판 선택배지 즉 *Lactobacillus* sp. (MRS agar, Oxoid, Basingstoke, UK), *E.coli* sp. (McConkey purple agar, Difco), Coliform bacteria (Violet red bile agar, Difco), Total aerobic bacteria (Nutrient agar, Difco)에서 실행하였다. *E. coli* sp., Coliform, Total aerobic bacteria는 37°C에서 24

Table 2. Growth performance of broiler chickens exposed to extreme heat stress (g/head)

	Groups			
	T1	T2	T3	T4
Days	----- Body weight gain -----			
0-21	785±14.87 <sup>ns</sup>	790±15.23	768±13.81	737±16.52
22-32	727±15.10 <sup>a</sup>	778±14.62 <sup>a</sup>	633±18.43 <sup>b</sup>	708±14.50 <sup>a</sup>
0-32	1,512±12.88 <sup>ab</sup>	1,568±17.29 <sup>a</sup>	1,418±18.68 <sup>c</sup>	1,484±17.01 <sup>b</sup>
	----- Feed intake -----			
0-21	1,525±5.65 <sup>a</sup>	1,527±6.73 <sup>a</sup>	1,477±7.32 <sup>b</sup>	1,485±8.66 <sup>b</sup>
22-32	1,578.7±7.95 <sup>a</sup>	1,562±8.51 <sup>a</sup>	1,377±5.80 <sup>b</sup>	1,513±7.90 <sup>a</sup>
0-32	3,102±5.92 <sup>a</sup>	3,089±8.45 <sup>a</sup>	2,854±4.07 <sup>b</sup>	2,998±6.24 <sup>a</sup>
	----- Feed efficiency ratio -----			
0-21	0.51±0.01 <sup>ns</sup>	0.52±0.02	0.51±0.04	0.50±0.01
22-32	0.46±0.03 <sup>ns</sup>	0.50±0.03	0.46±0.03	0.47±0.02
0-32	0.49±0.02 <sup>b</sup>	0.51±0.001 <sup>a</sup>	0.48±0.01 <sup>b</sup>	0.48±0.01 <sup>b</sup>

T1 :Extreme heat diet( EHD) 1+9D:15L(10:00-19:00 dark, 19:00-10:00 light);

T2 : EHD 2+ 9D:15L(10:00-19:00 dark, 19:00-10:00 light);

T3 : EHD 1+9D:15L(09:00-18:00 dark, 18:00-09:00 light);

T4 : EHD 2+ 9D:15L(09:00-18:00 dark, 18:00-09:00 light). <sup>ns</sup>No significant(p>0.05). <sup>a,b,c</sup>p<0.05.

시간 호기배양하였고 *Lactobacillus* sp.는 Anaero Gen sachets가 갖춰진 Sealed anaerobic jars를 이용한 혐기상태 하에서 37°C, 48시간 정치배양한 후 각각의 평판배지에서 미생물카운터로써 Colony의 수를 조사하였다. 모든 미생물 균락의 수는 맹장내용물 g당 균수, Colony-forming unit(Cfu)/g of wet of cecum content)로써 상용 로그를 취하여 제시하였다.

## 2.8. 통계분석

얻어진 모든 자료는 SAS software의 GLM procedure를 사용하여 분산분석(ANOVA)하였다. Duncan's multiple range test을 실행한 후  $p < 0.05$ 에서 자료의 통계적 유의성을 검정하였다 [11].

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 성장능력 및 조직무게

폭염에 노출된 브로일러에서 조사된 전체 실험 기간 동안 사양성적은 Table 2와 같다. 전체 기간 중 체중 증가량은 T2가 가장 높았으며 T1, T4, T3 순서로 높았고 처리구 간 통계적인 유의성이 인정되었다( $p < 0.05$ ). T1과 T2, T1과 T4는 서로 비슷하였으나 T3는 가장 낮게 나타났다. T2는 T1, T3, T4와 비교할 때 체중에서 각각 103.70%, 110.58%, 105.59% 증가하였다. 사료 섭취량은 T1, T2, T4가 서로 비슷하였으나 이들과 비교할 때 T3는 유의하게 가장 낮았다 ( $p < 0.05$ ). T3는 T2에 비해서 사료섭취량에서 7.61% 낮아졌다. 사료효율은 모든 처리구 가운데서 T2가 유의하게 가장 높았으나( $p < 0.05$ ) 이와 비교할 때 T1, T3, T4는 유의하게 낮았으며 서로 간 유의성은 나타나지 않았다. 간, 근위, 면역기관 F낭(Bursa of Fabricius), 흉선, 비장의 무게는 Table 3과 같다. 간, 근위는 처리구 사이의 유의성이 나타나지 않았다. 면역기관 흉선, F낭은 T1, T2가 T3, T4에 비해서 높았고 비장은 T1, T2, T3가 T4에 비해서 유의하게 높았다( $p < 0.05$ ). 비장에서 T1, T2, T3는 서로 비슷하였고 흉선, F낭은 T1과 T2, T3와 T4 사이의 통계적인 유의성이 없었다.

본 결과에서 폭염 스트레스에 노출된 브로일러에게 폭염사료 2의 급여와 함께 역전점등(9D:15L, 10:00~19:00 Dark, 19:00~10:00

Light)을 해주면 성장능력을 개선할 수 있다는 사실을 발견하였다. 결과는 폭염 전 6일(22~27일령) 동안 무제한 폭염사료 급여로써 폭염 저항성 영양소의 흡수이용 및 축적율이 증가되어 나타난 것으로 사료된다. 또한, 폭염기간(28~32일령) 동안 폭염사료의 야간 제한급여 및 역전점등을 실행한 T1, T2 특히 T2 브로일러의 체중 증가량이 유의하게 높아졌다. T2에서 폭염 1시간 전부터 폭염 후 3시간 동안 주간소등을 하면 폭염 전 2시간부터 폭염 후 2시간 동안 주간소등을 실시한 T1, T3, T4와 비교할 때 폭염 후 1시간 더 많은 소등으로 충분한 휴식을 취하게 해준 결과가 브로일러의 성장능력에 매우 중요하게 작용하였을 것으로 생각된다. 폭염 시 절식으로 사료섭취에 의해서 발생할 수 있는 대사열 증가억제로 체온 상승을 예방하였고 폭염 후 소등을 1시간 더 연장해서 충분히 쉬도록 한 역전점등은 충분한 사료섭취량 증가로 항폭염 영양소의 흡수, 이용율을 높였을 것으로 생각된다. 폭염 하에서 24시간 연속조명 하는 것은 빛에 의한 체온상승과 함께 섭취한 사료 영양소의 생체 대사열 발생증가에 의해서 체온의 급격한 상승을 초래하기 때문에 역전점등을 실시해주는 것이 바람직하다[7]. 폭염사료 2를 섭취한 T2에서 브로일러의 성장능력이 가장 높았던 것은 비타민 C의 첨가에 의한 것으로 생각된다. 폭염사료에 첨가된 영양소 가운데 우지는 식물성기름보다 포화지방산이 많고 포화지방산은 용점이 높고 대사열 발생율이 높다. 대두유는 기호성이 높고 용점이 낮으며 필수지방산을 함유하고 에너지 이용율이 높고 당밀과 함께 영양소의 섭취이용에 도움이 될 수 있다[3, 7-9]. 폭염 스트레스 하에서 단백질 수준을 높여주면 생체 대사과정에서 아미노산으로 분해될 때 더 많은 대사열을 발생하기 때문에 메티오닌, 리신과 같은 필수아미노산을 증가시켜 주는 것이 도움이 된다. 고온환경에서 사육된 브로일러의 증체량에 대한 메티오닌과 리신의 급여효과는 연구자의 실험방법에 따라서 다른 것으로 보고되었다[7-9, 12]. 고온환경에 노출된 브로일러에게 비타민 C를 공급하면 신체 영양소 특히, 에너지 저장에 영향을 주고 대사율을 유지하여 혈액 코르티코스테론을 낮추고 사양성적을 개선할 수 있다고 보고되었다. 비타민 C는 항산화, 면역, 심장과 혈관을 튼튼하게 해주고 콜라겐의 생합성에 필요한 성분으로써 열 스트레스를 최소화 하는데 도움이 된다[7, 13]. 폭염사료를 구성하는 이러한 영양소

Table 4. Serum lipid and glucose levels in broiler chickens exposed to extreme heat stress (mg/dL)

Item	Groups <sup>1</sup>			
	T1	T2	T3	T4
Triglyceride	129.5±4.38 <sup>a</sup>	132.1±5.07 <sup>a</sup>	112.8±4.73 <sup>b</sup>	107.1±5.31 <sup>b</sup>
Total cholesterol	138.12±1.81 <sup>b</sup>	145.54±2.02 <sup>a</sup>	135.12±3.86 <sup>b</sup>	137.27±4.55 <sup>b</sup>
LDL-C	38.76±2.81 <sup>d</sup>	43.50±1.63 <sup>c</sup>	55.44±4.08 <sup>b</sup>	61.11±4.37 <sup>a</sup>
HDL-C	97.18±3.81 <sup>a</sup>	88.77±3.51 <sup>b</sup>	69.18±4.08 <sup>c</sup>	64.87±4.15 <sup>d</sup>
Glucose	193.72±4.73 <sup>a</sup>	187.33±4.07 <sup>a</sup>	150.72±5.74 <sup>b</sup>	137.82±3.81 <sup>c</sup>

<sup>1</sup>The same as Table 1. <sup>a,b,c,d</sup>p<0.05.

Table 5. Serum immunoglobulin and corticosterone levels in broiler chickens exposed to extreme heat stress ( $\mu\text{g/mL}$ )

Item	Groups <sup>1</sup>			
	T1	T2	T3	T4
IgG	226.5±2.09 <sup>b</sup>	247.2±3.27 <sup>a</sup>	141.5±4.73 <sup>d</sup>	164.7±3.80 <sup>c</sup>
IgA	50.51±3.11 <sup>a</sup>	53.13±4.22 <sup>a</sup>	25.11±3.56 <sup>b</sup>	17.87±2.37 <sup>c</sup>
IgM	77.16±3.31 <sup>a</sup>	78.09±1.82 <sup>a</sup>	34.83±4.20 <sup>b</sup>	21.85±1.73 <sup>c</sup>
Corticosterone	31.42±1.94 <sup>c</sup>	27.06±2.55 <sup>d</sup>	109.26±2.18 <sup>a</sup>	95.03±3.26 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>The same as Table 1. <sup>a,b,c,d</sup>p<0.05.

들은 동물의 생체이용율이 높고 대사열 발생이 낮으며 면역세포 발육을 자극하여 혈액 IgG, IgA, IgM의 분비량을 높이며 스트레스 호르몬, corticosterone의 농도를 낮추고 브로일러의 성장 능력을 자극하였을 것으로 생각된다[5]. 열 스트레스 하에서 브로일러의 체중 증가량, 사료섭취량 및 사료이용율은 체온과 관련이 있으며 21°C와 비교할 때 32°C의 열스트레스에 노출될 경우 급격한 체온 상승으로 인하여 브로일러의 체중 증가량과 사료효율이 낮다는 보고가 있다[6, 7, 14]. 저자들은 이전의 연구에서 연속조명 및 폭염에 노출되었을 때 항폭염 영양소가 본 결과보다 더 높은 배합비율로 제조된 폭염사료를 무제한으로 급여한 브로일러의 경우 성장능력이 유의하게 낮아졌음을 보고하였다[7]. 한편, T2의 체중은 T1과 비슷하였고 T3, T4와 비교할 때 유의하게 높았던 점은 맹장에서 초산, 프로피온산, 총 짧은 사슬지방산의 생성이 증가한 (Table 6) 점과 관련이 있을 것으로 생각한다. 결과적으로 건강에 유익한 *Lactobacillus*의 성장을 자극하면서

유해한 미생물의 성장이 억압되어 장내 균총이 유지되고 (Table 5) 혈청 IgG, IgA, IgM의 농도 증가 (Table 4)로 인한 면역능력을 증가하여 폭염에 노출된 동물의 건강이 증진되었을 것으로 생각할 수 있다.

### 3.2. 혈액 지질

혈액지질 profiles과 혈당 변화는 Table 4와 같다. 중성지방은 T2, T1가 T3, T4에 비해서 123.34%까지 유의하게 높았으며 총콜레스테롤은 T2, T1이 T3, T4에 비해서 107.71%까지 높았다 (p<0.05). LDL-C는 T4, T3, T2, T1 순서로 유의하게 높았으나 HDL-C는 그 반대 경향을 나타냈다(p<0.05). 혈당은 T1, T2가 서로 비슷하였으며 T3, T4에 비해서 140.56%까지 유의하게 높았다(p<0.05).

T3, T4가 T1, T2 브로일러에 비하여 혈액지질 및 혈당이 유의하게 낮아진 것을 관찰하였다. 이러한 결과는 T3, T4가 폭염 스트레스 이후 1시간 빠르게 빛의 자극을 받아 활동하게 되어 휴식

을 충분히 취하지 못하여 스트레스 연장반응 및 adrenocorticotropin (ACTH)의 조절반응이 작용된 데 기인한 것으로 보인다(not determined) [15]. T3, T4가 열 스트레스에 의해서 사료섭취량이 감소하여 에너지 대사원으로써 빠르게 이용되는 생체 지질과 혈당이 감소했다는 선행 보고와 일치한다[6, 7]. Mumma 등은 산란계에서 스트레스 반응은 adrenocorticotropin (ACTH)의 연속주입으로 조절되며 혈액 콜레스테롤, HDL 및 혈당은 ACTH에 의해서 증가되지만 중성지방은 감소한다고 보고하여 본 결과와 부분적으로 일치한다[15].

### 3.3. 혈액 면역물질과 스트레스호르몬

혈액 면역물질과 스트레스호르몬, 코르티코스테론의 농도는 Table 5와 같다. IgG 농도는 T2, T1, T4, T3 순서로 높았으며 T2는 T1, T3, T4에 비해서 각각 9.14%, 50.09%, 74.70% 더 높게 나타났으며 각 처리구간 통계적 유의성이 인정되었다( $p < 0.05$ ). IgA, IgM 농도는 T2, T1, T3, T4 순서로 높았고 T1, T2 사이가 서로 비슷한 것을 제외하면 각 처리구간 통계적 유의성이 인정되었다( $p < 0.05$ ). T2는 T1, T3, T4에 비해서 IgA 농도 각각 5.19%, 111.59%, 197.31%, IgM 농도 각각 1.20%, 124.20%, 257.88% 더 높게 나타났다. 코르티코스테론의 농도는 T3, T4, T1, T2 순서로 높았으며 각 처리구 간 통계적 유의성이 인정되었다. T2는 모든 처리구 가운데서 가장 낮았으며 T1, T3, T4와 비교할 때 각각 13.88%, 75.23%, 71.53% 더 낮게 나타났다.

면역세포 발육(Table 3) 및 혈액 면역물질은 혈액 IgG에서 T2가 유의하게 가장 높았던 것을 제외하면 T1, T2가 서로 비슷하였다. 이는 궁극적으로 T3, T4와 비교할 때 스트레스 호르몬, corticosterone을 낮출 수 있었다. 이러한 결과는 폭염사료에 포함된 폭염 저항성 영양소의 상호작용과 함께 폭염 스트레스 후 T3, T4에 비해서 1시간 더 연장된 소등으로 인하여 충분한 휴식을 취한 닭의 경우 면역물질을 분비하는 면역기관 세포증식에 필요한 영양소가 충분히 공급된 것으로 볼 수 있다[16]. T1, T2에서 IgG, IgA, IgM이 증가한 점은 *Lactobacillus* 증가에 의한 면역능력의 자극때문으로 볼 수 있으며 T3, T4에서 IgG, IgA, IgM이 감소한 점은 폭염에 의해서 체액성면역 능력이 억압된 것을 의미한다. *Lactobacillus* sp.와 Bifidobacteria는 유익한 균으

로써 널리 알려져 있으며 이러한 균들은 소장으로부터 유입된 미분해 영양소를 발효시켜 에너지 공급, 지질대사 개선 및 면역능력을 자극하는 것으로 보고되었다[17, 18]. 본 연구에서는 Bifidobacteria의 변화는 조사하지 못했다. 면역단백질은 골수의 B-cell에서 만들어지며 체액성면역의 지표가 되는 IgG는 혈액 중 90% 이상을 차지한다. 브로일러에서 IgG, IgA, IgM은 포유동물의 면역단백질과 생물학적 특성이 비슷하다[19]. 동물에서 흉선, 비장은 항체생산을 위한 중요한 기관이며 특히 조류의 면역기관은 F낭이 포함된다. 이러한 브로일러의 면역기관은 IgM을 IgG로 전환시키거나 IgA의 작용을 활성화 시키는데 필수적이다[20]. 따라서 높아진 혈액 IgG, IgA, IgM 농도에 기인한 스트레스 호르몬, corticosterone의 감소 역시 폭염 하에서 발견된 림프기관의 회귀결과일 것으로 볼 수 있다. 면역기관의 발육은 면역체계 기능성의 기초가 되며 F낭은 B-림프구의 발달 및 기능적인 성숙연구에 사용된다[21].

### 3.4. 분변 미생물 및 짧은 사슬지방산

폭염에 노출된 브로일러에서 조사한 분변 중 미생물 변화는 Table 6과 같다. *Lactobacillus*는 T2, T1, T3, T4 순서로 높았으며 각 처리구 사이의 통계적인 유의성이 나타났다( $p < 0.05$ ). 특히, T2는 가장 높게 나타났으며 T1, T3, T4에 비해서 각각 102.96%, 115.61%, 112.80% 증가하였다. Total aerobic bacteria는 T4, T3, T2, T1 순서로 높게 나타났으나( $p < 0.05$ ) T3, T4 사이의 유의성은 없었다. T1은 가장 낮게 나타났으며 T4, T3, T2와 비교할 때 각각 25.78%, 25.00%, 15.23% 낮았다. *E. coli*는 T4, T3, T1, T2 순서로 높게 나타났으며 T3, T4 사이가 서로 비슷하였음을 제외하면 각 처리구 사이의 통계적인 유의성이 인정되었다( $p < 0.05$ ). T2는 가장 낮게 나타났으며 T4, T3, T1과 비교할 때 각각 35.28%, 35.77%, 27.64% 낮았다. Coliform bacteria는 T4, T3, T2, T1 순서로 높게 나타났으나( $p < 0.05$ ) T3, T4 사이의 유의성은 없었다. T1은 가장 낮게 나타났으며 T4, T3, T2와 비교할 때 각각 30.69%, 20.27%, 8.35% 낮았다. 닭의 맹장에서 측정된 짧은 사슬지방산 함량의 변화는 Table 7과 같다. 초산, 프로피온산 및 총 짧은 사슬지방산은 T2, T1, T3, T4 순서로 유의하게 높게 나타났다( $p < 0.05$ ). 가장 높았던 T2는 T1, T3,



Table 6. Changes in the fecal microflora of broiler chickens exposed to extreme heat stress (log<sub>10</sub> cfu/g)

Item	Groups <sup>1</sup>			
	T1	T2	T3	T4
<i>Lactobacillus</i>	6.76±0.03 <sup>b</sup>	6.96±0.12 <sup>a</sup>	6.02±0.06 <sup>c</sup>	6.17±0.09 <sup>d</sup>
Total aerobic bacteria	5.01±0.19 <sup>c</sup>	5.91±0.27 <sup>b</sup>	6.68±0.25 <sup>a</sup>	6.75±0.44 <sup>a</sup>
<i>E. coli</i>	4.74±0.07 <sup>b</sup>	3.43±0.72 <sup>c</sup>	5.34±0.34 <sup>a</sup>	5.30±0.28 <sup>a</sup>
Coliform bacteria	4.72±0.03 <sup>c</sup>	5.15±0.53 <sup>b</sup>	5.92±0.15 <sup>a</sup>	6.81±0.35 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>The same as Table 1. <sup>a,b,c,d</sup>p<0.05.

Table 7. Concentrations of short chain fatty acid (SCFA) in the cecal contents in broiler chickens exposed to extreme heat stress (μmol/g of cecum content)

SCFA	Groups <sup>1</sup>			
	T1	T2	T3	T4
Acetic acid	148.5±0.14 <sup>b</sup>	150.1±0.32 <sup>a</sup>	114.5±0.17 <sup>c</sup>	104.7±0.27 <sup>d</sup>
Propionic acid	78.51±0.17 <sup>b</sup>	95.10±0.21 <sup>a</sup>	65.71±0.25 <sup>c</sup>	57.03±0.35 <sup>d</sup>
Butyric acid	5.13±0.38 <sup>d</sup>	7.05±0.18 <sup>c</sup>	9.87±0.25 <sup>b</sup>	12.88±0.17 <sup>a</sup>
Isobutyric acid	3.41±0.19 <sup>c</sup>	3.06±0.31 <sup>c</sup>	9.21±0.30 <sup>a</sup>	5.03±0.17 <sup>b</sup>
Valeric acid	2.07±0.12 <sup>c</sup>	1.87±0.25 <sup>c</sup>	3.17±0.23 <sup>b</sup>	4.11±0.15 <sup>a</sup>
Isovaleric acid	1.55±0.12 <sup>b</sup>	0.88±0.05 <sup>c</sup>	2.95±0.17 <sup>a</sup>	3.11±0.08 <sup>a</sup>
Total SCFA	239.1±0.19 <sup>b</sup>	258.0±0.28 <sup>a</sup>	205.41±0.25 <sup>c</sup>	186.6±0.21 <sup>d</sup>

T4에 비해서 초산 101.08%, 131.09%, 143.36%, 프로피온산 121.13%, 144.73%, 166.75%, 총 짧은 사슬지방산 107.90%, 125.60%, 138.26% 각각 높은 경향을 보였다. 부티르산은 T4, T3, T2, T1 순서로 유의하게 높게 나타났으며 가장 낮았던 T1은 T2, T3, T4와 비교할 때 각각 27.23%, 48.02%, 60.17% 감소하였다. 이소부티르산은 T3, T4, T1, T2 순서로 높았으나(p<0.05) T1, T2 사이의 유의성은 없었다. 가장 낮았던 T2는 T1, T3, T4에 비해서 각각 10.26%, 66.78%, 39.16% 감소하였다. 발레르산은 T4, T3, T1, T2 순서로 높게 나타났으며 (p<0.05) T1, T2 사이의 유의성은 없었다. 가장 낮았던 T2는 T1, T3, T4와 비교할 때 각각 9.66%, 41.01%, 54.50% 낮아졌다. 이소발레르산은 T4, T3, T1, T2 순서로 높게 나타났으며(p<0.05) T3, T4 사이의 유의성은 없었다. 가장 낮았던 T2는 T1, T3, T4와 비

교할 때 각각 43.23%, 70.17%, 71.70% 감소하였다.

본 결과, T1, T2에서 *E. coli*, coliform, total aerobic bacteria의 감소는 짧은 사슬 지방산 생성 증가 및 브로일러의 성장을 향상시키는 작용을 갖는 것으로 생각된다. 브로일러의 과학적인 절차 실험에서 이들 변수 측정결과는 대조군과 상대적인 비율을 비교하여 그 결과를 해석할 수 있으며 이와 관련한 절대적인 통계 기준치는 알려져 있지 않다. 폭염사료와 함께 역전점등을 실시한 T1, T2에서 숙주동물에게 유익한 초산, 프로피온산 등의 짧은 사슬지방산이 높아졌고 동물의 장 기능 활성화에 유익한 *Lactobacillus*가 증가한 점은 유해한 *E. coli*, coliform, total aerobic bacteria가 감소한 점과 관련이 있는 것으로 볼 수 있다. *Lactobacillus*는 *E. coli* 등 유해균의 성장을 억압하는 박테리오파지를 분비하며

유익균이 충분히 서식할 수 있도록 장 환경을 개선해주는 짧은 사슬지방산을 생성한다. 따라서 *Lactobacillus*의 발효로부터 생성된 대부분의 유기산, 젖산과 함께 초산, 프로피온산은 유해균에 의한 장 균락화를 억압할 수 있다[7, 22]. T1, T2에서 나타난 맹장 *E. coli*, coliform, total aerobic bacteria가 유의하게 낮아진 이유는 바로 이러한 기전의 일부라고 생각된다. 동물의 소화관에서 미생물은 발효산물을 생합성해서 장 상피세포의 발육에 필요한 에너지를 공급해주고 소화관 면역체계의 자극, 비타민 K의 합성 그리고 외인성 병원균의 균락화에 대한 저항성을 나타낸다는 점에서 매우 중요하다[22, 23].

#### 4. 결론

본 연구결과는 폭염환경에 노출된 브로일러에 게 대두유, 당밀, 메치오닌, 라이신 및 비타민 C를 이용하여 제조한 폭염사료의 야간 제한급여와 함께 역전점등(9D:15L, 10:00~19:00 Dark, 19:00~10:00 Light)을 실시해주면 혈액지질과 맹장의 짧은 사슬지방산 변화를 조절하여 줌으로써 브로일러의 성장능력을 개선하는데 도움이 된다는 점을 발견하였다. 이는 폭염에 저항하는 영양소 공급, 에너지원으로써 혈액 중성지방, 혈당 소모와 대사열 발생 감소, 역전점등 시간조절로 인한 폭염 이후 빛 자극 시간 연장으로 인한 체온상승을 억제하는 작용기전일 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 2013년도 농촌진흥청 아젠다사업 및 2013년도 강원대학교 학술연구조성비(과제번호 120131292)로 수행하였으며 이에 감사드립니다.

#### REFERENCES

1. W. M. Quinteiro-Filho, A. Ribeiro, V. Ferraz-de-Paula, M. L. Pinheiro, M. Sakai, L. R. S. A. J. Ferreira, and J. Palermo-Neto, Heat stress impairs performance parameters, induces intestinal injury, and decreases macrophage activity in broiler chickens, *Poult. Sci.* 89, 1905–1914 (2011).
2. Y. Guo, G. Zhang, J. Yuan, and W. Nie, Effect of source and level of magnesium and vitamin E on prevention of hepatic peroxidation and oxidative deterioration of broiler meat, *Anim. Feed Sci. Technol.* 107, 143–150 (2003).
3. S. Leeson, and J. D. Summers, Commercial poultry nutrition. University books. Guelph. Ontario. NIH 6N8, Canada. (1991).
4. A. Y. Han, M. H. Zhang, X. I. Zuo, C. F. Zhao, J. H. Feng, and C. Cheng, Effect of acute heat stress on calcium concentration, proliferation, cell cycle, and interleukin-2 production in splenic lymphocytes from broiler chickens, *Poult. Sci.* 89, 2063–2070 (2010).
5. Z. Y. Niu, F. Z. Ilu, and Q. I. Yan, Effects of different levels of vitamin E on growth performance and immune responses of broilers under heat stress, *Poult. Sci.* 88, 2101–2107 (2009).
6. S. O Park, J. Hwangbo, B. S. Park, H. K. Kang, O. S. Seo, H. S. Chae, H. C. Choi, and Y. H. Choi, Effects of extreme heat stress and continuous lighting on growth performance and blood lipid in broiler chickens, *Korean J. Oil Chem.*, 30, 78–87 (2013).
7. J. S Yoon, H. K. Kang, S. O. Park, B. S. Park, J. Hwangbo, O. S. Seo, H. S. Chae, H. C. Choi, and Y. H. Choi, Effects of inverse lighting and diet with soy oil on growth performance and short chain fatty acid of broiler exposed to extreme heat stress, *Korean J. Oil Chem.*, 30, 127–138 (2013).
8. H. Lin, H. C. Jiao, J. Buyse, and E. Decuyper, Strategies for preventing heat stress in poultry. *World's Poult. Sci. J.* 62, 71–85 (2006).
9. M. Sahraei, Feed restriction in broiler chickens production: A review, *Global Veterinaria*, 8, 449–458 (2012).

10. National Research Council, Nutrient Requirements of Poultry. 9th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC. (1994).
11. SAS, SAS/STAT User's Guide: Statistics. SAS Inst. Inc, Cary, NC. (2004).
12. R. E. Austic, Feeding poultry in hot and cold climates. Pages 123-136 in Stress physiology in livestock. Vol. 3. M. K. Yousef, ed. CRC press. Boca Raton, FL. (1985).
13. N. Boyera, L. Galey, and B. A. Bernard, Effect of vitamin C and its derivatives on collagen synthesis and cross-linking by normal human fibroblasts, *Int. J. Cosmet. Sci*, 20, 151-158 (1998).
14. P. A. Geraert, J. C. F. Padilha, and S. Guillaumin, Metabolic and endocrine changes induced by chronic heat exposure in broiler chicks: Growth performance, body composition and energy retention, *Br. J. Nutr*, 63, 1697-1702. (1996).
15. J. O. Mumma, J. P. Thaxton, Y. Vizzier-Thaxton, and W. L. Dodson, Physiological stress in laying hens, *Poult. Sci*, 85, 761-775 (2006).
16. S. Singh, H. Sodhi, and R. Kaur, Effects of dietary supplements of selenium, vitamin E or combination of the two on antibody response of broilers, *Br. Poult. Sci*, 47, 714-719 (2006).
17. P. D. Schley, and C. J. Field, The immune-enhancing effects of dietary fibres and prebiotics, *Br. J. Nutr*, 87, S221-S230 (2002).
18. S. O. Park, and B. S. Park, Effect of dietary inuloprebiotics on performance, serum immunoglobulin and caecal microflora in broiler chickens, *Kor. J. Organic Agric*, 17, 539-555 (2009).
19. D. A. Higgins, Physical and chemical properties of fowl immunoglobulins, *The Vet. Bull*, 45, 139-154 (1975).
20. J. Bienenstock, J. Gaudie, and D. Y. E. Perey Synthesis of IgG, IgA, IgM by chicken tissues: Immunofluorescent and 14C amino acid incorporation studies, *The J. Immun*, 111, 1112-1118 (1973).
21. B. Tizard, The avian antibody response, *Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine*, 11, 2-14 (2002).
22. J. Gong, R. J. Forster, H. Yu, J. R. Chambers, P. M. Sabour, R. Wheatcroft, and S. Chen, Diversity and phylogenetic analysis of bacteria in the mucosa of chicken ceca and comparison with bacteria in the cecal lumen, *FEMS Microbiol. Lett*, 208, 1-7 (2002).
23. Z. R. Xu, C. H. Hu, and M. O. Wang, Effects of fructooligosaccharide on conversion of L-tryptophan to skatole and indole by mixed populations of pig fecal bacteria, *J. Gen. Appl. Microbiol*, 48, 83-89 (2002).