

베타인이 폭염 오리의 짧은 사슬지방산 및 혈액 프로파일에 미치는 효과

황보 중¹ · 방한태¹ · 박병성^{2,†}

¹국립축산과학원 가금과, ²강원대학교 동물응용과학부
(2015년 7월 11일 접수; 2015년 8월 3일 수정; 2015년 8월 27일 채택)

Effect of dietary betaine on short chain fatty acid and blood profile in meat duck exposed to extreme heat stress

Jong Hwangbo¹ · Han-Tae Bang¹ · Byung-Sung Park^{2,†}

¹Poultry Science Division, National Institute of Animal Science, RDA, Seonghwan 330-801,
²College of Animal Life Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701,
Republic of Korea

(Received July 11, 2015; Revised August 3, 2015; Accepted August 27, 2015)

Abstract : This study investigated the pharmacodynamics of betaine on the blood profile and short chain fatty acid levels in meat ducks exposed to heat wave. 400 heads of Cherry valley (*Anas platyrhynchos*) meat ducks were completely randomized to 5 treatments (4 repetitions each), and were raised for 42 days. They were grouped into T1 (heat wave control group without betaine), T2 (betaine 400 ppm), T3 (betaine 800 ppm), T4 (betaine 1200 ppm), and T5 (normal control group without betaine). Compared to T1, the betaine addition groups showed higher body weight gain at shipment, with T3 showing the highest significant difference. For hematological indicators measured (red blood cells and platelets), the betaine addition groups showed significantly higher values than the heat wave control group. The pH of the former was lower but their electrolytes (K^+ , P^+ , and Cl^-) were significantly higher compared to the latter. For blood gas concentration, the former showed a significantly higher value than the latter. For the total short chain fatty acids, acetic acid, and propionic acid, the betaine addition groups and group fed broiler-high temperature diet showed higher values than the heat wave control group. On the other hand, the former showed significantly lower values in butyric acid, isobutyric acid, valeric acid, and isovaleric acid than the latter group. These results suggest that betaine has the pharmacodynamics that mediate heat stress, via the maintenance and control of the blood profile, osmotic pressure, gas concentration, and short chain fatty acid, of meat ducks under heat wave.

Keywords : duck, heat stress, short chain fatty acid, blood parameter.

[†]Corresponding author
(E-mail: bspark@kangwon.ac.kr, insuhuh@kangwon.ac.kr)

1. 서론

혹서기 고온, 다습으로 인한 폭염은 동물 신체의 스트레스 메커니즘을 활성화시키며[1], 동물복지 및 생산성에 역효과를 초래한다[2-3]. 조류는 포유동물에 비해서 체온이 높고 피부에 땀샘이 없으며 온몸이 깃털로 덮여있기 때문에 열 스트레스에 민감하다. 이러한 생물학적 특성상 조류가 열 스트레스에 노출되면 사료섭취량, 사료효율 및 체중감소를 초래하며[4-5]. 이것은 오리를 비롯한 양계산업에서 막대한 경제적 손실의 원인이 된다[6-7]. 오리를 비롯한 가금의 열 스트레스에 노출되었을 때 혈액학적 지표가 낮아진다[8-9]. 혈액학적 소견은 동물의 건강과 영양상태 평가[10] 및 가금에서 스트레스 반응에 대하여 민감한 혈액학적 지표[11], 그리고 면역기능에 대한 일반 생체 표지자로서 중요하다[1]. 열 스트레스는 가금의 체온상승, 헐떡거림, 혈액 pH 상승을 나타내며 물 섭취가 증가하여 혈액희석의 결과로서 혈액 전해질 Na, K, Cl과 함께 pCO_2 , HCO_3 를 낮춘다[12].

글리신의 트리메틸 유도체인 베타인은 3개의 물과 친하지 않은 소수성 메틸기(CH_3)를 가지고 있으며 동시에 물과 친한 친수성 카르복실기($COOH$)를 지니고 있는 양극성 화합물로서 콜린, 메치오닌과 함께 메틸기를 공급해주는 공여자로써 작용한다[5, 13]. 베타인은 단백질 합성과 에너지 대사[14], 카르니틴, 크레아틴과 같은 물질의 합성을 위해서 메틸기 전이반응에 사용될 수 있는 메틸기를 제공해준다[15]. 베타인은 동물에서 고온 스트레스로 인한 피해를 줄이고 성장능력을 향상시킬 수 있는 것으로 알려져 사용이 늘어나고 있다[14, 16-17]. 베타인은 고온 스트레스에 노출되었을 때 삼투압을 조절하여 탈수 예방 및 세포 내 수분을 보존하고 동물의 영양소 소화율과 성장능력을 돕는다[16, 18]. 고온 sodium-potassium pump (Na^+/K^+ pump)에 소요되는 에너지를 절약하여 성장에 이용할 수 있고[19], 장점막을 확장하여 영양소의 흡수이용을 높여주는 것으로 알려졌다[4]. 열 스트레스 하에서 육계사료 내 베타인 800-1,000 ppm, 음수에 0.05-0.1% 공급은 체중증가를 보이며 음수에 0.10-0.20% 공급은 오히려 체중을 감소한다는 상반된 결과가 있다[4, 15, 20]. 일반환경에서 육용 오리 사료 내 베타인 0.5% 첨가는 체중증가 및 사료요구율을 낮추는 것으로 알려져 있다[17,

21]. 여름철 오리 산란계에게 베타인 1.5% 첨가는 산란성적을 개선한다는 보고가 있으나[22] 혹서기 폭염 스트레스에 노출된 육용 오리에 대한 연구결과는 거의 알려진 바 없다.

가금에서 숙주동물에게 유익한 초산, 프로피온산 등의 짧은 사슬지방산은 맹장의 유익균, *lactobacillus*, *bifidobacterium*이 충분하게 서식할 수 있도록 장 환경을 개선해줌과 유해균에 의한 장 균락화를 억압할 수 있다[23]. 폭염은 브로일러의 장내 유익한 미생물과 짧은 사슬지방산을 낮추고 유해한 미생물의 증식을 높여서 스트레스를 가중시킨다[24].

폭염에 노출된 오리에서 베타인의 혈액 프로파일, 삼투압과 가스농도 및 짧은 사슬지방산에 관한 약리학적 지식은 제한적이다. 그러므로, 본 연구의 목적은 열 스트레스 하에서 오리의 생물학적 기능에 관한 베타인의 약력학적 기작을 연구하는 것이었다. 이러한 예비실험으로부터 결과는 혹서기 폭염 환경에서 오리의 생산성 향상에 관한 기초지식을 제공할 것으로 본다.

2. 실험

2.1. 실험설계

Cherry valley (*Anas platyrhynchos*) 육용오리 480수를 부화 당일 경기 양평 소재 농가의 부화장으로부터 공급받아서 6처리 4반복(반복 당 20 마리)으로 완전임의배치 한 후 42일 간 사육하였다. 처리군은 다음과 같다. T1(베타인 무첨가 폭염 대조군), T2(베타인 400 ppm), T3(베타인 800 ppm), T4(베타인 1200 ppm), T5(육계 고온 사료), T6(베타인 무첨가 일반 대조군)로 구분하였다. 육계 고온사료는 오리사료 내 우지를 대두유 5%로 대체, 메티오닌과 라이신 각각 0.45%, 당밀 2%, 비타민 C 200 ppm 혼합한 사료를 새롭게 제조하여 무제한 급여하였다[24].

2.2. 실험사료, 사양관리 및 성장능력

실험사료는 한국가금사양표준(2012)에서 제시한 육용 오리의 영양소 요구량을 충족 또는 약간 초과하도록 제조하였으며 모든 영양소 함량을 동일하게 조절하였다. 실험사료 내 베타인(coated 97%, Beta-key, Excentials, Netherland)의 첨가량에 따른 곡물원료의 혼합비율은 옥수수 첨가량을 줄여서 조절하였다. 오리 전기(1-21일) 동안

에는 일반환경(22-26°C)에서 24시간 연속조명과 함께 일반음수 및 오리 전기사료를 자유롭게 섭취토록 하였다. 오리후기(22-42일) 동안에는 폭염부여와 함께 실험사료를 급여하였다. 폭염조건으로써 22일째부터 42일 출하 시까지 폭염을 부여(11:00-17:00, 33-43°C, 상대습도 70%)한 다음 17:00-20:00는 22-26°C를 유지하였다. 전체 실험기간 동안 모든 처리구는 연속조명과 함께 사료와 음수의 무제한 급여를 실시하였으며 폭염기간 동안 오리는 14°C 냉각수를 공급해주었다. 깔짚으로써 왕겨를 각 펜의 바닥 10 cm 높이로 깔아주었으며 사육실의 온도는 입추당일에서 3일까지는 33°C로 유지하였고 그 다음부터 주당 2~3°C씩 낮췄다. 실험기간 동안 사료섭취량, 체중을 측정, 기록하였으며 실험기간 중 성장능력을 체중 증가량, 사료섭취량 및 사료요구율(사료섭취량/체중 증가량)으로써 나타냈다. 동물을 포함한 모든 실험절차는 EEC Directive of 1986: 86/609/EEC에서 제시된 과학적이고 윤리적인 규정을 따랐으며, 강원대학교 동물실험윤리위원회로부터 승인(KW-141027-1)을 얻었다.

2.3. 혈액채취

실험종료 전날 밤 12시부터 오리를 10시간 절식시킨 후 처리구 당 오리 20마리(반복 펜 당 5마리)를 선별하여 채혈하였다. 혈액 3 mL를 plain tubes (Greiner Co Ltd, Australia) 속으로 심장을 경유하여 각 조류로부터 얻었다. 혈액 시료를 4°C에서 20분간 3,000 rpm으로 원심분리하여 혈청을 분리하였다. -196°C의 액체질소에서 급속동결 한 다음 생화학적 분석 시까지 -20°C에서 보관하였다.

2.4. 혈액학적 지표, 전해질 및 가스

자동분석기를 이용하여 혈액학적 지표(automated blood cell counter (Forcyte, Oxford Science, USA)로서 RBC(total red blood cell counts), HCT(hematocrit), HGB(hemoglobin), MCV(mean corpuscular volume), MCHC(mean corpuscular hemoglobin concentration), RDW(red cell distribution width), PLT(platelet count), PCT(plateletcrit), MPV(mean platelet volume), 혈액 전해질(VetScan i-STAT 1 Handheld Analyzer, Abaxis, USA)과 혈액 가스(RAPIDChem 744/754 Blood Gas Analyzers, Simens, USA)를

각각 측정하였다.

2.5. 짧은 사슬지방산

실험종료 시에 각 처리구의 반복 펜으로부터 평균 체중에 가까운 오리 5마리씩 선별하여 실험동물 안락사 권장에 따라서 경추탈골에 의해서 스트레스를 주지 않고 안정적으로 희생하였다 [23]. 맹장은 양쪽 끝을 실로 묶어서 채취하였으며 Gas chromatographic system (model GC-15A, Shimadzu Corp., Kyoto, Japan)를 이용하여 짧은 사슬지방산 (Short chain fatty acid, SCFA)을 측정하였다. 20 mL 스크류캡튜브 속으로 맹장내용물 5 g을 넣어서 증류수 5 mL와 혼합하였다. Ultra turrax를 이용하여 균질화 후 4°C 10,000 rpm에서 10분간 원심분리하였다. 원심분리 후 상등액 1 mL를 앰플병으로 옮긴 후 0.2 mL의 25% H₃PO₄용액을 첨가하여 산성화하였다. 시료를 균질화한 다음에 앰플병을 30분 이상 얼음 위에서 유지하였다. GC 분석하기 전에 10,000 rpm에서 10분간 원심분리하였다. GC는 불꽃이온화검출기와 Chromosorb WAW에 10% SP-1000/1% H₃PO₄으로 충전된 Glass column (180cm×4mm, Supelco, Inc., Bellefonte, PA)가 부착되었으며 칼럼은 운반가스로서 고순도 N₂(1.8mL/min)와 함께 100-150°C에서 운전하였다. Flow rate는 33 mL/min이었다 [24].

2.6. 통계분석

얻어진 모든 자료는 SAS software의 GLM procedure를 사용하여 분산분석(ANOVA)하였다. Duncan's multiple range test을 실행한 후 p<0.05에서 자료의 통계적 유의성을 검정하였다 [25].

3. 결과 및 고찰

3.1. 사양성적

혹서기 폭염 스트레스에 노출된 오리의 42일령 출하 시 증체량은 T6(3,299 g), T4(3,095 g), T3(3,094 g), T2(3,005 g), T5(3,005 g), T1(2,589 g) 순서로 유의하게 높았다. T1과 비교할 때 베타인 첨가군에서 체중은 416 g(16.07%) 이상 증가하였으며 베타인 첨가구는 T6에 비해서 204 g 낮은 것으로 나타났다. 본 결과는 혹서기 폭염 스트레스 하에서 14°C의 시원한 음수

공급과 함께 베타인 800 ppm 사료를 급여해주면 폭염피해를 저감할 수 있다는 점을 보여준다. 증체량은 베타인 첨가구가 대조군과 비교할 때 농도 의존적으로 증가하는 경향을 보였으나 800 ppm에서 더 이상 증가하지 않는 안정점에 도달하였다. 이러한 결과는 메칠기 과잉으로써 메칠기의 배설 및 에너지 손실이 늘어나서 상가적 증체를 나타내지 않은 것으로 볼 수 있다. 베타인은 메칠기 공여체로써 혹서기 폭염 스트레스로 인한 탈수현상을 보이는 동물에서 삼투압 조절 기능에 효과적이며 동물에서 열 스트레스 예방효과가 리부 되었다. 열 스트레스 하에서 육계사료 내 베타인의 800~1,000 ppm, 음수 0.05~0.1%는 체중증가 및 0.10~0.20%는 체중감소라는 상반된 결과가 있으나 폭염오리에 대한 결과는 알려진 것이 거의 없다[4, 15].

3.2. 혈액학적 지표

폭염 스트레스에 노출된 육용오리에서 혈액학적 지표에 관한 베타인의 효과는 Table 1과 같

다. 베타인 첨가에 의해서 나타난 적혈구(MCV를 제외)와 혈소판에서 측정된 혈액학적 지표는 T1에 비해서 유의하게 높은 경향이였다. MCHC에서 T4, RDW에서 T5, MPV에서 T3가 가장 높았으며 PCT에서 처리구 간 차이가 없었던 점을 제외하면 혈액학적 지표는 T2에서 유의하게 가장 높았다. 적혈구용적비(hematocrit, HCT)는 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군이 각각 25.07, 26.24% 높았으나 T1을 제외한 각 처리구 간 유의차가 인정되었다. RBC는 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군이 비슷하게 23.47% 높았으나 T1, T3, T6 사이의 유의차가 있었음을 제외하면 각 처리구 간 유의차는 나타나지 않았다. 헤모글로빈(hemoglobin, HGB)은 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군이 각각 17.70, 12.79% 유의하게 높았으나 베타인 첨가구, 고온사료 처리군, 베타인 무첨가 일반 대조군 사이의 유의차는 인정되지 않았다. 평균 적혈구 용적(mean cell volume, MCV)은 T1과 비교할 때 T2가 1.02배 높았으나

Table 1. Effect of different treatments on hematological level of meat duck fed betaine diet under heat stress

	Groups					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
RBC						
RBC (M/ μ L)	2.12 \pm 0.04 ^b	2.77 \pm 0.20 ^a	2.43 \pm 0.03 ^a	2.57 \pm 0.20 ^a	2.71 \pm 0.20 ^a	2.47 \pm 0.03 ^a
HCT (%)	29.88 \pm 0.33 ^c	39.88 \pm 0.12 ^b	36.53 \pm 0.27 ^c	35.31 \pm 0.15 ^d	33.48 \pm 0.20 ^e	40.51 \pm 0.18 ^a
HGB (g/dL)	14.86 \pm 0.15 ^b	18.06 \pm 0.64 ^a	16.56 \pm 0.30 ^a	16.92 \pm 0.08 ^a	17.04 \pm 0.48 ^a	17.42 \pm 0.18 ^a
MCV (fL)	142.8 \pm 0.25 ^b	145.1 \pm 0.01 ^a	140.3 \pm 0.61 ^c	140.1 \pm 0.33 ^c	139.3 \pm 0.90 ^d	139.9 \pm 0.17 ^c
MCHC(g/dL)	45.26 \pm 0.17 ^d	48.25 \pm 0.45 ^c	48.19 \pm 0.40 ^c	49.59 \pm 0.5 ^b	48.04 \pm 0.16 ^c	50.26 \pm 0.25 ^a
RDW (%)	6.33 \pm 0.28 ^c	7.48 \pm 0.34 ^a	7.35 \pm 0.15 ^{ab}	7.03 \pm 0.05 ^b	7.50 \pm 0.10 ^a	7.17 \pm 0.13 ^{ab}
Platelets						
PLT (K/ μ L)	30.48 \pm 0.28 ^c	47.67 \pm 0.29 ^a	36.69 \pm 0.15 ^d	40.06 \pm 0.05 ^c	34.46 \pm 0.37 ^e	44.13 \pm 0.13 ^b
PCT (%)	0.06 \pm 0.01 ^{abc}	0.07 \pm 0.001 ^a	0.04 \pm 0.005 ^c	0.06 \pm 0.001 ^{abc}	0.07 \pm 0.02 ^a	0.05 \pm 0.005 ^{bc}
MPV (fL)	15.38 \pm 0.38 ^b	16.42 \pm 0.22 ^a	16.74 \pm 0.20 ^a	16.48 \pm 0.31 ^a	16.66 \pm 0.28 ^a	16.39 \pm 0.31 ^a

RBC: Total red blood cell counts, HCT: Hematocrit, HGB: Hemoglobin, MCV: Mean corpuscular volume, MCHC: Mean corpuscular hemoglobin concentration, RDW: Red cell distribution width, PLT: Platelet count, PCT: Plateletcrit, MPV: Mean platelet volume. Mean values \pm SD. ^{a,b,c,d,e,f}($p < 0.05$).

T3, T4는 1.89%, T5, T6는 2.15% 유의하게 낮아졌다. 한편, T3, T4, T6 및 T4, T5, T6 사이의 MCV는 유의차가 나타나지 않았다. 평균 적혈구 혈색소 농도 (Mean corpuscular hemoglobin concentration, MCHC)는 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군이 각각 8.73, 5.79% 유의하게 높았으나 T2, T3, T5 사이의 유의차는 인정되지 않았다. 적혈구 크기 분포(red blood cell distribution width, RDW)는 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군이 각각 15.37, 15.60% 유의하게 높았으나 T3, T4, T6 사이 그리고 T2, T3, T5, T6 사이의 유의차는 인정되지 않았다. 혈소판(platelet, PLT)은 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군이 각각 36.06, 11.54% 유의하게 높았으며 T2, T6, T4, T3, T5 순서로 유의하게 높았다. 혈소판 용적치(plateletcrit, PCT)는 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군 사이의 유의차는 인정되지 않았다. 평균 혈소판 용적(mean platelet volume, MPV)은 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군이 각각 8.12, 7.68% 유의하게 높았으나 베타인 첨가구와 고온사료 처리군 사이의 유의차는 인정되지 않았다. 이러한 발견은 고온 스트레스에 노출된 육계에서 혈액학적 지표가 감소하였다는 보고와 일치한다[26]. 본 결과, 폭염에 노출된 오리 사료 내 베타인을 첨가해주면 혈액학적 지표를 일정 수준으로 유지해줌으로써 열 스트레스 피해를 완화시켜주는 것으로 나타났다. 폭염에 노출된 오리에서 HCT 감소는 적혈구 손상, 적혈구 생산 감소 또는 적혈구 숫자와 크기 감소[27] 및 열 스트레스에 노출되는 동안 물 섭취량 증가로써 류코사이

트를 포함한 혈액세포 농도희석에 기인한 것으로 본다[28]. 폭염에 노출된 오리에서 베타인 첨가구가 관행사료를 섭취한 대조군에 비하여 혈액학적 지표가 높았던 점은 베타인이 사료품질 향상에 어느 정도 기여하였을 것으로 볼 수 있다. 정상적인 동물의 경우 혈액학적 지표는 사료의 품질과 정의 상관이 있다[29]. 적혈구의 감소는 출혈성 빈혈, 용혈성 빈혈을 일으키며 헤모글로빈의 감소는 소적혈구증을 유발한다. 적혈구 용적율은 적혈구 침착 용적과 깊은 관련이 있으며 평균 적혈구 용적이 감소할 경우 혈색소량과 헤모글로빈이 낮아지고 평균 적혈구 혈색소 농도는 평균 헤모글로빈 양을 절대량으로 표시한 것으로 감소할 경우 철분 결핍성 빈혈을 일으킨다[27, 30]. 육계에서 열 스트레스는 세포 안에서 세포 밖으로 나오는 수분증발을 구성하는 혈장 용적의 변화가 없어도 수분손실을 가능하게 하는 적응반응인 혈액희석과 관련하여 HCT, HGB를 낮춘다[12].

3.3. 혈액 전해질

폭염 스트레스에 노출된 육용오리에서 혈액 전해질에 관한 베타인의 효과는 Table 2에 제시하였다. 혈액 전해질은 베타인 무첨가 폭염 대조군이 가장 낮았고 베타인 첨가구는 베타인 무첨가 일반대조군과 서로 비슷한 경향을 나타냈으며 각 처리군 사이의 통계적인 유의성이 인정되었다. pH는 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군이 유의하게 낮았으며 이 두 개의 처리군 사이는 서로 비슷하였다. Na는 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군이 서로 비슷하게 3.90% 높았으며 T4는 T2, T3, T5, T6에 비해서 유의하게 낮았다. K는 T1과 비교할 때 베타

Table 2. Effect of different treatments on blood electrolytes level of meat duck fed betaine diet under heat stress (mmol/L)

	Groups					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
pH	7.43±0.03 ^a	7.36±0.04 ^b	7.35±0.02 ^b	7.38±0.03 ^b	7.39±0.03 ^b	7.35±0.05 ^b
Sodium (Na ⁺)	135.7±0.21 ^c	140.4±0.10 ^a	141.1±0.17 ^a	140.4±0.21 ^b	141.2±0.66 ^a	141.1±0.17 ^a
Potassium (K ⁺)	2.82±0.23 ^b	3.07±0.001 ^b	3.12±0.13 ^a	3.12±0.13 ^a	3.62±0.18 ^a	3.33±0.15 ^a
Chloride (Cl ⁻)	103.7±0.15 ^d	106.2±0.47 ^{bc}	104.6±0.22 ^d	107.5±1.72 ^b	105.4±0.93 ^{cd}	109.8±0.15 ^a

Mean values±SD. ^{a,b,c,d,e}(p<0.05).

타인 첨가구와 고온사료 처리군이 각각 9.62, 22.10% 유의하게 높았으며 T5가 가장 높았고 T1, T2 사이 및 T2, T3, T4, T6 사이의 통계적 유의차는 없었다. Cl은 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군이 각각 3.53, 1.61% 유의하게 높았으며 T4가 가장 높았고 T3가 가장 낮았으며 T4, T2 사이, T2, T5 사이, T3, T5 사이, T1, T3 사이의 통계적 유의차는 없었다. 본 결과, 폭염 스트레스 하에서 오리에게 베타인을 급여해주면 혈액 전해질을 일정하게 유지해줌으로써 삼투압을 조절하여 열 스트레스 저감효과를 갖는 것으로 볼 수 있다. Teeters et al. (1985)은 육계에 고온 스트레스를 가한 후 다양한 전해질 제재를 급여한 결과, 혈액의 pH를 조사하였을 때 고온스트레스를 받아 panting을 하고 있는 육계의 경우 유의하게 증가하였으나 그러한 현상이 없는 육계는 증가하지 않았다고 보고하여 본 결과와 경향을 같이 한다[31]. 베타인은 외부 삼투 농도에 의해서 자극되어 대식세포와 신장세포에 축적되며 삼투 변화에서 수분 손실을 최소화 하는데 도움을 주는 삼투물질은 세포 탈수의 상황에서 매우 중요하다[19, 32]. 내장 기관 내에서 사용되는 에너지의 30~60%는 sodium-potassium ATP pump와 관련이 있으며 세포 내의 수분 균형을 유지 및 베타인 같은 삼투압 물질의 부재 시 중요한 역할을 한다[19]. sodium-potassium ATP pump와 비교하여 베타인에 의한 삼투압은 세포 내에 베타인이 축적하는데 에너지 소모가 덜하기 때문에 남은 에너지로 세포증식을 촉진할 수 있다[19]. 폭염 스트레스를 받은 일반 대조군인 T1에서 나타난 결과는 가금과 버펄로

소에서 열 스트레스의 결과로서 혈액 Na, K, Cl이 낮아졌다는 보고와 일치한다[12, 33]. 열 스트레스 하에서 가금은 헐떡거림을 반복하는 개구 호흡 사이클을 나타냄으로써 호흡성 알칼리증의 고통을 받게 된다. 고온 환경 하에서 가금은 개구 호흡을 함으로써 호흡기 내에 있는 수분을 증발시켜 열을 발산하고 혈중 이산화탄소의 배출이 증가하며 혈액 pH가 상승함으로써 호흡성 알칼리증을 유발한다. 호흡성 알칼리증은 뇨 배설을 위한 H⁺와 K 사이의 경합을 감소시켜 소변에서 K 손실을 증가시킨다. 따라서 이와 같은 혈액 전해질 균형이 파괴되면 사료섭취량 감소와 함께 가금의 생산성 감소를 초래할 수 있다[12, 34]. 급성 열스트레스 동안 체온이 상승함으로써 Na 농도가 낮아지며 세포막 침투성 변화에 기인하여 조직의 K가 혈액 속으로 나오는 원인인 혈액희석이 발생한다. 열 스트레스 후 K의 위치변경 현상이 약해지면 과잉의 K가 배설되어 혈액 K 농도는 정상으로 회복되거나 또는 낮아진다. 혈액 Cl이 감소한 점은 열 스트레스로서 알칼리호흡으로 혈액 pH가 높아지고 혈액 pH를 정상화하기 위한 산성화 작용을 가속화하기 위해 체액에서 더 많은 Cl이 필요하기 때문으로 볼 수 있다[12]. 혈액 전해질의 이러한 감소는 열 스트레스를 완화시키기 위하여 주로 소변, 땀으로 배설되는 전해질의 손실량 증가에 기인하여 발생한다[33].

3.4. 혈액 가스

폭염 스트레스에 노출된 육용오리에서 혈액 가스 농도에 관한 베타인의 효과는 Table 3과 같다. 혈액 가스 농도는 베타인 첨가구와 고온사료

Table 3. Blood gas of duck with betaine diet under heat stress

	Groups					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
PCO ₂ (mmHg)	21.90±0.14 ^c	44.25±0.55 ^b	43.85±0.35 ^{bc}	43.10±0.10 ^c	41.70±0.40 ^d	46.25±0.45 ^a
PO ₂ (mmHg)	37.50±0.50 ^c	77.00±0.10 ^b	68.50±0.50 ^c	69.50±0.50 ^c	56.50±1.50 ^d	89.50±0.50 ^a
BE _{ecf} (mmol/L)	-12.50±0.51 ^d	-8.50±0.50 ^c	-3.50±0.50 ^a	-3.50±0.50 ^a	-3.77±0.22 ^a	-6.50±0.50 ^b
HCO ₃ (mmol/L)	15.30±0.10 ^c	23.25±0.25 ^a	23.00±0.30 ^a	22.95±0.05 ^a	21.50±0.50 ^b	23.05±0.05 ^a
TCO ₂ (mmol/L)	14.50±0.50 ^c	23.50±0.50 ^a	22.90±0.10 ^{ab}	22.85±0.1 ^{ab}	22.50±0.50 ^b	23.50±0.50 ^a

Mean values±SD. ^{a,b,c,d,e}(p<0.05).

처리군이 베타인 무첨가 폭염 대조군에 비해서 유의하게 높았다. PCO₂와 PO₂는 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군이 각각 50.51, 47.48 및 51.30, 33.63% 높았으며 베타인 첨가구는 고온사료 처리군에 비해서 높았다. T2, T3 사이, T3, T4 사이의 유의차는 없었다. BEecf는 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군이 각각 72.50, 69.84% 높게 나타났으며 T3, T4 T5 사이의 유의차는 없었고 처리구 가운데 T2는 가장 낮았다. HCO₃와 TCO₂는 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군이 각각 34.19, 28.84 및 38.30, 35.56% 높게 나타났다. HCO₃는 처리구 가운데 T5가 낮았으며 TCO₂는 T2, T3, T4, T6 사이 및 T3, T4, T5 사이의 유의차는 없었다. 본 결과, 폭염에 노출된 오리에서 베타인 첨가는 혈액가스 농도를 일정하게 유지시켜 줌으로써 열 스트레스 완화효과를 갖는 것으로 볼 수 있다. 육계에서 열 스트레스가 혈액 pCO₂를 낮춘다는 보고가 있으며 열 스트레스 동안 적절한 혈액 pCO₂ 농도의 유지는 조류가 폐로부터 수분증발에 의한 체온을 낮추기 위해 헐떡거림으로 호흡기계를 경유하여 CO₂를 연속적으로 제거하기 때문에 필수적이다[12].

3.5. 맹장 짧은 사슬지방산

폭염 스트레스에 노출된 육용오리의 맹장에서 측정된 짧은 사슬지방산(SCFA)은 Table 4와 같다. 총 SCFA, 초산, 프로피온산은 베타인 첨가구

와 고온사료 처리군이 베타인 무첨가 폭염 대조군에 비해서 높았으나 이와 반대로 부티르산, 이소부티르산, 발레르산, 이소발레르산은 유의하게 낮았다. 총 SCFA는 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군이 각각 28.26, 22.25% 유의하게 높았으며 T2, T3, T6 사이 및 T2, T3, T4 사이의 유의차는 없었고 처리구 가운데 T5는 가장 낮게 나타났다. 초산은 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군이 각각 82.91, 65.91% 유의하게 높았으며 T3는 정상군인 T6와 비슷하였고 T3, T4, T5 사이 및 T2, T5 사이의 유의차는 없었다. 프로피온산은 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군이 각각 32.66, 28.66% 유의하게 높았으나 베타인 첨가구와 고온사료 처리군 사이의 유의차는 없었다. 부티르산은 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군이 각각 80.70, 79.78% 낮았으며 T2, T4, T5, T6, T3 순서로 유의하게 낮았으나 T3, T5, T6 사이의 유의차는 없었다. 이소부티르산은 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군이 각각 68.25, 68.70% 유의하게 낮았으며 T2가 가장 높았으나 T3, T4, T5, T6 사이는 서로 비슷하였다. 발레르산은 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군이 비슷하게 67.21% 유의하게 낮았으며 T2가 가장 높았고 T6, T4, T3, T5 순서로 낮아졌으나 T3, T4, T5 사이 및 T4, T6 사이의 유의차는 없었다. 이소발레르산은 T1과 비교할 때 베타인 첨가구와 고온사료 처리군

Table 4. Cecal short chain fatty acids (SCFA) of duck with betaine diet under heat stress ($\mu\text{mol/g}$ of cecum content)

SCFA	Groups					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Acetic acid	88.59±3.17 ^d	150.8±4.38 ^c	171.5±7.34 ^{ab}	160.6±5.27 ^b	154.5±4.17 ^{bc}	174.7±5.27 ^a
Propionic acid	58.05±3.14 ^b	85.41±3.92 ^a	90.71±4.25 ^a	87.05±2.77 ^a	86.71±3.25 ^a	89.73±3.35 ^a
Butyric acid	25.13±1.35 ^a	17.05±1.18 ^b	4.85±0.77 ^d	6.98±0.37 ^c	5.08±0.25 ^d	4.88±0.27 ^d
Isobutyric acid	13.45±0.34 ^a	5.07±0.33 ^b	4.27±0.25 ^c	4.07±0.17 ^c	4.21±0.36 ^c	4.03±0.23 ^c
Valeric acid	9.67±0.12 ^a	6.87±0.55 ^b	3.17±0.22 ^d	3.61±0.15 ^{cd}	3.17±0.23 ^d	4.11±0.48 ^c
Isovaleric acid	4.15±0.32 ^a	2.84±0.75 ^c	2.90±0.17 ^{bc}	3.17±0.18 ^b	2.29±0.17 ^d	3.16±0.13 ^b
Total SCFA	199.0±6.12 ^d	268.0±6.28 ^{ab}	277.4±9.01 ^{ab}	265.5±7.17 ^b	255.9±7.18 ^c	280.6±7.91 ^a

Mean values±SD. ^{a,b,c,d}(p<0.05).

이 각각 31.56, 44.82% 유의하게 낮았으며 T4, T6, T3, T2, T5 순서로 낮아졌으나 T3, T4, T6 사이 및 T2, T3 사이의 유의차는 없었다. 본 결과, 베타인 첨가군의 맹장에서 유의한 총 유기산, 초산과 프로피온산이 증가한 반면에 유해한 뷰티르산과 발레르산이 감소한 점은 동물의 장내 미생물 환경조절을 통한 면역능력 향상으로 열 스트레스 완화효과를 나타낼 것으로 생각할 수 있다[35]. 폭염 스트레스에 노출된 육계에서 초산, 프로피온산 등의 짧은 사슬지방산이 낮아졌고 젖산균이 감소하였다는 보고[24]와 젖산균 발효로부터 생성된 대부분의 유기산은 유해균에 의한 장 균락화를 억압하여 면역능력을 부여할 수 있다는 점은 본 결과를 지지해준다[36-37].

4. 결론

폭염 스트레스에 노출된 육용오리에서 베타인의 생물학적 기능성을 알아보기 위하여 맹장 내 짧은 사슬지방산과 혈액 프로파일의 수준을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 출하 시 증체량은 베타인 무첨가 폭염 대조군과 비교할 때 베타인 첨가군에서 416g(16.07%) 이상 유의하게 증가하였다.
2. 평균 적혈구 용적(mean cell volume, MCV)을 제외한 총적혈구 수(total red blood cell count, RBC), 적혈구용적비(hematocrit, HCT), 헤모글로빈(hemoglobin, HGB), 평균 적혈구 혈색소 농도 (Mean corpuscular hemoglobin concentration, MCHC), 적혈구 크기 분포 (red blood cell distribution width, RDW), 혈소판(platelet, PLT), 혈소판 용적지(plateletcrit, PCT), 평균 혈소판 용적(mean platelet volume, MPV)은 베타인 첨가군이 베타인 무첨가 폭염 대조군에 비해서 유의하게 높았다.
3. 혈액 전해질(Na, K, Cl)은 베타인 무첨가 폭염 대조군이 베타인 첨가군에 비해서 유의하게 낮았다.
4. 혈액 PCO₂, PO₂, BEecf, HCO₃와 TCO₂는 베타인 첨가군이 베타인 무첨가 폭염 대조군에 비해서 유의하게 높았다.
6. 총 SCFA, 초산, 프로피온산은 베타인 첨가

군 베타인 무첨가 폭염 대조군에 비해서 높았으나 이와 반대로 뷰티르산, 이소뷰티르산, 발레르산, 이소발레르산은 유의하게 낮았다.

본 연구는 베타인이 폭염에 노출된 오리의 생체기관에서 짧은 사슬지방산과 혈액 프로파일의 적정 수준을 유지해주는 약력학적 기작을 경유하여 열 스트레스 완화효과를 갖는다는 점을 보여준다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 2014년 아젠다사업(PJ010088) 및 강원대학교 전임교원 2014년도 기본연구비(Project No: 120140240) 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. E. Habibu, N.M. Ikira, H.U. Buhari, T. Aluwong, M.U. Kawu, L.S. Yaqub, M. Tauheed, and H.I. Isa, Effect of molasses supplementation on live weight gain, haematologic parameters and erythrocyte osmotic fragility of broiler chickens in the hot-dry season, *Inter. J. Vet. Sci*, 3, 181-188 (2014).
2. J.B. Gaughan, S.L. Bonner, I. Loxton, and T.L. Mader, Effects of chronic heat stress on plasma concentration of secreted heat shock protein 70 in growing feedlot cattle, *J. Anim. Sci*, 91, 120-129 (2013).
3. S. Sharma, K. Ramesh, I. Hyder, S. Uniyal, V.P. Yadav, R.P. Panda, V.P. Maurya, G. Singh, P. Kumar, A. Mitra, and M. Sarkar, Effect of melatonin administration on thyroid hormones, cortisol and expression profile of heat shock proteins in goats (*Caprahircus*) exposed to heat stress, *Small Ruminant Res*, 112, 216-223 (2013).
4. N. Mahmoudnia, and Y. Madani, Effect of betaine on performance and carcass composition of broiler chicken in warm

- weather-A review, *Int. J. Agri. Sci*, 2, 675-683 (2012).
5. A.P. Del Vesco, E. Gasparino, D.O. Grieser, V. Zancanela, F.R.S. Gasparin, J. Constantin, and A.R. Oliveira Neto, Effects of methionine supplementation on the redox state of acute heat stress-exposed quails, *J. Anim. Sci*, 92, 806-815 (2014).
 6. M.M. Mashaly, G.L. Hendricks, M.A. Kalama, A.E. Gehad, A.O. Abbas, and P.H. Patterson, Effect of heat stress on production parameters and immune responses of commercial laying hens, *Poult. Sci*, 83, 889-894 (2004).
 7. T. Zeng, J.J. Li, D.Q. Wang, G.Q. Li, G.L. Wang, and L.Z. Lu, Effects of heat stress on antioxidant defense system, inflammatory injury, and heat shock proteins of Muscovy and Pekin ducks: evidence for differential thermal sensitivities, *Cell Stress and Chaperones*, 19, 895-901 (2014).
 8. R.J. Etches, T.M. John, and A.M.V. Gibbins, Behavioural, physiological, neuroendocrine and molecular responses to heat stress, In: Nuhad J. Dagher (ed.). Poultry production in hot climates. Trowbridge. Cromwell press. 49-69 (2008).
 9. M.H. Tamzil, R.R. Noor, P.S. Hardjosworo, W. Manalu, and C. Sumantri, Hematological response of chickens with different heat shock protein 70 genotypes to acute heat stress, *Int. J. Poult. Sci*, 13, 14-20 (2014).
 10. A.R. Gupta, R.C. Putra, D. Saini, and M. Swarup, Haematology and serum biochemistry of Chital (*Axis axis*) and barking deer (*Muntiacus muntjak*) reared in semi-captivity, *Vet. Res. Commun*, 31, 801-808 (2007).
 11. M. Rajalekshmi, C. Sugumar, H. Chirakka, and S.V. Ramarao, Influence of chromium propionate on the carcass characteristics and immune response of commercial broiler birds under normal rearing conditions, *Poult. Sci*, 93, 574-580 (2014).
 12. S.A. Borges, A. Majorca, D.M. Hooge, and K.R. Cummingst, Physiological responses of broiler chickens to heat stress and dietary electrolyte balance(sodium plus potassium minus chloride, milliequivalents per kilogram, *Poult. Sci*, 83, 1551-1558 (2004).
 13. H. Siljander-Rasi, S. Peuranen, K. Tiihonen, E. Virtanen, H. Kettunen, T. Alaviuhkola, and P. H. Simmins, Effect of equimolar dietary betaine and choline addition on performance, carcass quality and physiological parameters of pigs, *Anim. Sci*, 76, 55-62 (2003).
 14. M. Eklund, E. Bauer, J. Wamatu, and R. Mosenthin, Potential nutritional and physiological functions of betaine in livestock, *Nutr. Res. Rev*, 18, 31-48 (2005).
 15. A. Ratriyanto, R. Mosenthin, E. Baueri, and M. Eklund, Metabolic, osmoregulatory and nutritional functions of betaine in monogastric animals. *Asian-Aust. J. Anim. Sci*, 22, 1461-1476 (2009).
 16. Y.A. Attia, R.A. Hassan, M.H. Shehatta, and S.B. Abd-El-Hady, Growth, carcass quality and serum constituents of slow growing chicks as affected by betaine addition to diets containing 2. Different levels of methionine, *Int. J. Poult. Sci*, 4, 856-865 (2005).
 17. P.W. Waldroup, M.A. Motl, F. Yan, and C.A. Fritts, Effects of betaine and choline on response to methionine supplementation to broiler diets formulated to industry standards, *J. Appl. Poult. Res*, 15, 58-71 (2006).
 18. M. Eklund, R. Mosenthin, M. Tafaj, and J. Wamatu, Effects of betaine and condensed molasses solubles on nitrogen balance and nutrient digestibility in piglets fed diets deficient in methionine and low

- in compatible osmolytes, *Arch. Anim. Nutr.*, 60, 289–300 (2006).
19. J. Remus, Betaine for increased breast meat yield in turkeys, *World Poultry*, 17, 14–15 (2001).
 20. K.F. Kinkpinar, Effect of betaine on performance carcass, bone and blood characteristics of broilers during natural summer temperature, *J. Anim. Vet. Adv.*, 7, 930–937 (2008).
 21. Y.Z. Wang, Z.R. Xu, and J. Feng, The effect of betaine and DL-methionine on growth performance and carcass characteristics in meat ducks, *Anim. Feed Sci. Technol.*, 116, 151–159 (2004).
 22. A.L. Awad, H. N. Fahim, A.F. Ibrahim, and M.M. Beshara, Effect of dietary betaine supplementation on productive and reproductive performance of Domyati duck under summer condition, *Egypt. Poultry. Sci.*, 34, 453–474 (2014).
 23. 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).
 24. S.O. Park, J. Hwangbo, B.S. Park, H.K. Kang, O.S. Seo, H.S. Chae, H.C. Choi, 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).
 25. SAS, SAS/STAT User's Guide: Statistics. Version 6.0. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina. USA (2005).
 26. W. Aengwanich, Effects of high environmental temperature on blood indices of thai indigenous chickens, thai indigenous chickens crossbred and broilers, *Int. J. Poultry. Sci.*, 6, 427–430 (2007).
 27. P.E. Hilman, N.R. Scot, and A. Van Tienhoven, Physiological, responses and adaption to hot and cold environments, in: Yousef MK (Ed.). *Stress Physiology in Livestock*. Poultry. CRC Press. Florida. 1–71 (2000).
 28. M.H. Tamzil, R.R. Noor, P.S. Hardjosworo, W. Manalu, and C. Sumantri, Acute heat stress response of three lines of chickens with different heat shock protein (HSP) 70 genotypes, *Int. J. Poultry. Sci.*, 12, 264–272 (2013).
 29. A.M. Abudabos, G.M. Suliman, E.O. Hussien, M.Q. Al-Ghadi, and A. Al-Oweymer, Effect of mineral-vitamin premix reduction on performance and certain hemato-biochemical values in broiler chickens, *Asian J. Anim. Vet. Adv.*, 8, 747–753 (2013).
 30. M.K. Turkyilmaz, Effect of stocking density on stress reaction in broiler chickens during summer, *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*, 32, 31–36 (2008).
 31. H.S. Chae, H.C. Choi, J.C. Na, Y.H. Choi, and B.S. Park, Effect of electrolytic material feeding on blood and carcass traits of broiler under intense heat condition in summer, *Korean J. Poultry. Sci.*, 39, 183–193 (2012).
 32. I. Zulkifli, S.A. Mysahra, and L.Z. Jin, Dietary supplementation of betaine and response a high temperature stress in male broiler chickens, *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 17, 244–249 (2004).
 33. B.V.S. Kumar, G. Singh, and S. K. Meur, Effects of addition of electrolyte and ascorbic acid in feed during heat stress in buffaloes, *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 23, 7: 880–888 (2010).
 34. S.A. Borges, A.V.F.D. Silva, and A. Maiorka, Acid-base balance in broilers, *WPSA*, 63, 73–81 (2007).
 35. G.R. Gibson, and R.A. Rastall, *Prebiotics: Development and application*. John Wiley and Sons, Ltd., USA (2006).
 36. 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).
37. 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).