

베타인 사료의 급여시기가 폭염에 노출된 오리의 짧은 사슬지방산, 혈액 프로파일 및 생산성에 미치는 효과

방한태¹ · 황보 종¹ · 강환구^{1,†} · 박병성^{2,†}

¹국립축산과학원 가금과, ²강원대학교 동물응용과학부
(2015년 8월 12일 접수; 2015년 8월 28일 수정; 2015년 9월 30일 채택)

Effect of different feeding times using a diet containing betaine on production, blood profile and a short chain fatty acid in meat ducks exposed to a scorching heat wave

Han-Tae Bang¹ · Jong Hwangbo^{1,†} · Hwan-Ku Kang¹ · Byung-Sung Park^{2,†}

¹*Poultry Science Division, National Institute of Animal Science, RDA, Seonghwan 330-801*

²*College of Animal Life Science, Kangwon National University,
Chuncheon 200-701, Republic of Korea*

(Received August 12, 2015; Revised August 28, 2015; Accepted September 30, 2015)

요약 : 폭염에 노출된 육용오리에서 짧은 사슬지방산(short chain fatty acid, SCFA), 혈액 프로파일 및 생산성에 관한 베타인 800 ppm 함유사료의 급여시기 별 차이를 조사하였다. 오리 (Cherry valley, *Anas platyrhynchos*) 240 마리를 4처리 3반복(반복 당 20마리)으로 완전임의배치 한 후 42일 간 사육하였다. 4개의 처리구는 C(베타인 무첨가 폭염 대조군), T1(베타인 800 ppm 사료 무제한 급여군), T2(베타인 800 ppm 사료 오전 05:00-10:00, 오후 17:00-20:00 제한급여군), T3(베타인 800 ppm 사료 17:00-10:00 야간 제한급여군)로 구분하였다. 42일령 체중은 T2, T1, T3 순서로 베타인 사료 급여시기 처리구가 폭염 대조군에 비해서 증가하였으나 T1, T3 사이의 유의차는 없었다. 사료요구율은 베타인을 함유하지 않은 사료의 무제한 급여 폭염 대조군이 베타인 사료의 급여시기 처리군에 비해서 높았으나 T1, T2, T3 사이의 유의차는 없었다. PLT, MPV를 제외한 적혈구 및 혈소판의 프로파일은 베타인 함유사료를 급여하는 시기에 따라서 통계적인 유의차가 인정되었다. 혈액 K⁺를 제외한 Na⁺, Cl⁻은 베타인 함유사료를 오전, 오후로 구분하여 급여해준 T2가 다른 두 개의 처리군에 비해서 유의하게 높았다. 혈액 가스는 T2가 다른 두 개의 처리군에 비해서 일반적으로 높은 경향을 보였다. 총 SCFA, 초산, 프로피온산은 T2가 다른 두 개의 처리군에 비해서 높은 경향을 보였으나 이와 반대로 뷰티르산, 이소뷰티르산, 발레르산, 이소발레르산은 일반적으로 낮았다. 이상의 결과는 폭염에 노출된 오리에서 베타인 800 ppm을 함유하는 사료의 오전 05:00-10:00, 오후 17:00-20:00 급여가 베타인의 약리학적 기작을 통한 성장능력을 개선할 수 있음을 나타낸다.

[†]Corresponding author
(E-mail: bspark@kangwon.ac.kr; magic 100@korea.kr)

주제어 : 오리, 폭염 스트레스, 베타인 사료, 급여시기, 짧은 사슬지방산, 혈액 프로파일

Abstract : The effects of different feeding times, using a diet containing 800 ppm betaine, on production, blood profile, and the short-chain fatty acid (SCFA), was investigated using 240 Cherry Valley (*Anas platyrhynchos*) meat ducks exposed to a scorching heat wave. The animals were randomly assigned to four groups, each of which was replicated three times with twenty ducks per replicate. The experimental period was 42 days for each group. Four groups were assigned into C (heat wave control group without betaine), T1 (*ad libitum* group fed a diet containing 800 ppm betaine), T2 (diet-restricted group fed twice daily between 05:00–10:00 and 17:00–20:00, using a diet containing 800 ppm betaine), and T3 (night-restricted group, fed from 17:00–10:00, with a diet containing 800 ppm betaine). At 42 days, body weight increased in order of T2, T1, T3 compared to the heat wave control group although. However, these differences were not found between the groups of T1 and T3. The heat wave control group, provided an *ad libitum* diet without betaine (C), showed an elevated feed conversion ratio compared to the groups fed a diet containing betaine. However, these differences were not found between the groups of T1, T2 and T3. RBC and platelet profiles except for PLT and MPV showed statistically significant differences between study groups fed a diet containing betaine. T2 presented significantly higher blood electrolytes Na^+ and Cl^- than the other groups. T2 also showed a blood gas level that was generally higher than the other groups. Total SCFA, acetic acid and propionic acid concentration has been the increasing trend in T2, but butyric acid, isobutyric acid and valeric acid concentration has been the decreasing trend in T2 compared to the other groups. It is concluded that the feeding-restricted group, fed two times daily between 05:00–10:00 and 17:00–20:00, with a diet containing 800 ppm betaine may improve growth performance in meat ducks exposed to a scorching heat wave.

Keywords : duck, heat wave, betaine diet, feeding time, short chain fatty acid, blood parameter.

1. 서 론

혹서기 폭염은 매우 중요한 열 스트레스로써 동물복지와 생산성에 역효과를 초래하는 신체의 스트레스 메카니즘을 활성화시킨다[1]. 성숙한 조류에서 41°C의 높은 체온과 깃털 그리고 땀샘이 없는 피부는 폭염 스트레스 하에서 체온상승을 가중시킴으로써 헐떡거림과 함께 생산성 감소를 초래하며 이것은 양계산업에서 막대한 경제적 손실의 원인이 된다[2]. 폭염 스트레스는 양계농가의 수익성에 영향을 미치는 제한요인으로써 체중 감소, 사료요구율 증가 및 높은 사망률을 초래한다[3]. 폭염은 동물의 성장능력에 해로운 영향을 미치는 몇 가지 중요한 문제와 연관되어 있다. 혈액 전해질 균형은 세포성장을 지원하는 정상적인 프로세스를 벗어나고 과잉호흡의 결과로써 깨진다. 주위의 높은 온도에 노출됨으로써 체열발산

을 위한 호흡성 알칼리증, 세포 내 수분손실로써 탈수, 물 섭취증가와 함께 소변배설 증가와 관련하고 있다[4].

오리를 비롯한 가금이 폭염 스트레스에 노출되면 혈액학적 지표, 전해질, 혈액가스 및 맹장의 짧은 사슬지방산 농도가 낮아진다[5, 6]. 혈액 프로파일은 동물의 건강과 영양상태 평가 및 가금에서 스트레스 반응에 대하여 민감한 혈액학적 지표, 그리고 면역기능에 대한 일반 생체 표지자로서 중요하다[7]. 헐떡거림은 혈액으로부터 CO_2 제거 증가에 의해 수반되며 그 결과로써 혈액 pH가 상승한다[8]. 혈액 pH가 알칼리성 또는 산성 쪽으로 기울게 되면 이온펌프와 ATP 합성에 포함된 효소를 경유하는 능동수송과 같은 생명에 필수적인 생물학적 과정이 영향 받을 수 있다. 또한, 폭염 스트레스를 받은 조류는 분과 소변에서 K^+ , Na^+ 배설이 증가하며 전해질, K^+ , Na^+ 와

Cl⁻은 산 염기균형, 삼투압 및 세포막 전위를 유지하는 데 있어서 중요하다[4, 9]

동물에서 베타인은 단백질 합성과 에너지 대사에 관여하며 폭염 스트레스에 노출되었을 때 삼투압을 조절하여 탈수예방 및 세포 내 수분을 보존하고 동물의 영양소 소화율과 성장능력을 돕는다[10]. 베타인은 폭염 스트레스 하에서 sodium-potassium pump (Na⁺/K⁺ pump)에 소요되는 에너지를 절약하여 성장에 이용할 수 있고[11], 장점막을 확장하여 영양소의 흡수이용을 높여주는 것으로 알려졌다[3]. 폭염 스트레스 하에서 브로일러 사료 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 [12, 13]. 일반환경에서 육용 오리 사료 내 베타인 0.5% 첨가는 체중증가 및 사료요구율을 낮추는 것으로 알려져 있다[14]. 여름철 오리 산란계에게 베타인 1.5% 첨가는 산란성적을 개선한다는 보고가 있으며 [15] 저자 등은 선행연구에서 혹서기 폭염에 노출된 오리에게 서로 다른 수준의 베타인을 15°C 냉각수와 함께 무제한 급여해주었을 때 800 ppm 수준에서 혈액 프로파일의 항상성 유지 및 맹장의 짧은 사슬지방산 증가로 인한 스트레스 완화와 함께 생산성을 향상시킨다는 사실을 확인하였다[16]. 가금에서 폭염 스트레스에 대한 역효과를 완화시키기 위한 사양관리 요인으로써 사료제한 급여 전략이 검토되었다[17]. 폭염에 노출된 브로일러에서 주간절식과 함께 폭염사료의 야간 제한 급여가 혈액지질과 맹장의 짧은 사슬지방산 변화를 조절하여 줌으로써 체중 증가량을 개선시킨 것으로 보고되었다[18]. 그러나 베타인 함유사료의 급여시기 조절에 따른 제한급여 효과는 검토되지 않았다.

폭염 스트레스는 동물의 건강악화로 인한 복지 불량 및 생산성 감소를 초래한다. 그러므로 연구자들의 핵심 관심사는 이러한 문제를 극복하는데 있었다. 본 연구는 폭염 스트레스에 노출된 육용오리에서 짧은 사슬지방산, 혈액 프로파일과 생산성에 관한 베타인 800 ppm 함유사료의 급여시기에 따른 생물학적 효과를 결정하기 위하여 수행하였다.

2. 실험

2.1. 실험설계

Cherry valley (*Anas platyrhynchos*) 육용오리 240수를 부화 당일 경기 양평 소재 농가의 부화장으로부터 공급받아서 4처리 3반복(반복 당 20 마리)으로 완전임의배치 한 후 42일 간 사육하였다. 처리군은 다음과 같다. C(베타인 무첨가 폭염 대조군), T1(베타인 800 ppm 사료 무제한 급여군), T2(베타인 800 ppm 사료, 오전 05:00-10:00, 오후 17:00-20:00, 제한급여군), T3(베타인 800 ppm 사료, 17:00-10:00 야간 제한급여군)로 구분하였다.

2.2. 실험사료, 사양관리 및 생산성

실험사료는 한국가금사양표준(2012)에서 제시한 육용 오리의 영양소 요구량을 충족 또는 약간 초과하도록 제조하였으며 모든 영양소 함량을 동일하게 조절하였다. 옥수수, 대두박 위주의 오리 후기사료 내 베타인 800 ppm을 혼합해서 제조하였으며 베타인의 첨가수준은 선행 연구결과(한국유화학회, 2015, 7 심사 중)를 기초로 하여 결정하였다. 실험사료 내 베타인(coated 97%, Beta-key, Excentials, Netherland)의 첨가량에 따른 곡물원료의 혼합비율은 옥수수 첨가량을 줄여서 조절하였다. 오리 전기(0-21일) 동안에는 일반환경(22-26°C)에서 24시간 연속조명과 함께 일반음수 및 오리 전기사료를 자유롭게 섭취토록 하였다. 오리후기(22-42일) 동안에는 폭염부여와 함께 실험사료의 급여시기를 조절하였다. 폭염부여(11:00-17:00, 33-43°C 자동조절, 상대습도 70%, 15°C 냉각수 공급)를 실시한 다음 일반환경을 유지하였으며 전체 기간 동안 모든 처리구는 연속조명을 실시하였다. 깔짚으로써 왕겨를 각 펜의 바닥 10 cm 높이로 깔아주었으며 사육실의 온도는 입추당일에서 3일까지는 33°C로 유지하였고 그 다음부터 주당 2~3°C씩 낮췄다. 실험기간 중 성장능력 측정 변수로써 체중 증가량, 사료섭취량 및 사료요구율(사료섭취량/체중 증가량)을 조사하였다. 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 9마리(반복 펜 당 3마

리)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

혈액학적 지표는 자동분석기(automated blood cell counter, Forcyte, Oxford Science, USA)를 이용하여 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)를 측정하였고, 혈액 전해질(VetScan i-STAT 1 Handheld Analyzer, Abaxis, USA)과 혈액 가스(RAPIDChem 744/754 Blood Gas Analyzers, Simens, USA)를 측정하였다.

2.5. 짧은 사슬지방산

실험종료 시에 각 처리구의 반복 펜으로부터 평균 체중에 가까운 오리 3마리씩 선별하여 총 9마리를 실험동물 안락사 권장에 따라서 경추탈골에 의해서 스트레스를 주지 않고 안정적으로 희생하였다. 맹장은 양쪽 끝을 실로 묶어서 혐기적으로 채취 후 아이스박스에 보관하였으며 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 0.5 g을 넣어서 증류수 5 mL와 혼합하였다. ultra turrax를 이용하여 균질화 후 4°C 10,000 rpm에서 10분간 원심분리하였다. 원심분리 후 상등액 1 mL를 앰플 병으로 옮긴 후 0.2 mL의 25% H₃PO₄용액을 첨가하여 산성화하였다. 시료를 균질화한 다음에 앰플병을 30분 이상 얼음 위에서 유지하였으며 10,000 rpm에서 10분간 원심분리하였다. GC는 불꽃이온화검출기와 Chromosorb WAW에 10% SP-1000/1% H₃PO₄로 충전된 glass column (180 cm×4mm, Supelco, Inc., Bellefonte, PA)가 부착되었으며 칼럼은 운반가스로서 고순도 N₂ (1.8 mL/min)와 함께 100-150°C에서 운전하였다. flow rate는 33

mL/min이었다[18].

2.6. 통계분석

자료의 통계처리는 SAS software의 GLM procedure를 사용하여 분산분석(ANOVA)하였다. Duncan's multiple range test를 실행한 후 95% 신뢰수준에서 자료의 통계적 유의성을 검정 ($p < 0.05$)하였다[19].

3. 결과 및 고찰

3.1. 생산성 변화

오리의 개시체중은 48.47-48.75 g 이었으며 21일령 1368-1378 g, 42일령 출하 시 T2(3,502 g), T1(3,435 g), T3(3,408 g), C(2,641 g) 순서로 베타인 사료 처리구가 폭염 대조군(C)에 비해서 861 g 증가(T2)하였으나 T1, T3 사이의 유의차는 없었다. 사료요구율은 C(2.04)가 T1(1.90), T2(1.89), T3(1.90)에 비해서 높았으나 T1, T2, T3 사이의 유의차는 없었다. 결과는 혹서기 폭염 스트레스에 노출된 오리에게 15°C 냉각수와 함께 베타인 800 ppm 함유사료를 오전 05:00-10:00, 오후 17:00-20:00로 구분하여 제한급여 해줌으로써 폭염 스트레스를 완화하여 생산성을 개선할 수 있음을 보여준다. 폭염 스트레스에 노출된 브로일러는 일반환경 조건에서 사육된 닭과 비교하였을 때 사료섭취량 감소와 함께 체중감소가 나타나며, 폭염 시 냉각수와 함께 주간절식 및 야간 사료 제한급여가 브로일러의 체중 증가량을 개선했다는 보고는 본 결과를 지지해준다[18]. 물은 동물에서 가장 중요한 영양소의 하나일 뿐만 아니라 특히 열 스트레스 기간 동안 닭에서 열 항상성과 관련하여 필수 생리적 역할을 수행한다. 폭염 스트레스 하에서 물 손실은 가금의 체열조절 균형에 있어서 현저한 변화를 나타내는 원인이 되고 희생을 초래할 수 있다[20]. 더울 때 닭에게 냉각수 공급효과가 시험되었으며 음수 온도는 브로일러의 성장능력을 개선하는 것으로 보고되었다[21]. 폭염 스트레스 기간 동안 브로일러에서 사료 제한급여는 대사열을 낮추기 위해 농가에서 사용되고 있으나 폭염 스트레스에 노출된 오리에 대해서는 응용되지 않고 있다[22].

3.2. 혈액학적 지표

폭염 스트레스에 노출된 육용오리에서 혈액학

적 지표(hematological index, HI)에 관한 베타인 800 ppm 함유사료의 급여시기 조절효과는 Table 1과 같다. 적혈구 및 혈소판의 프로파일 가운데 PLT, MPV를 제외한 기타 변수들은 베타인 사료를 급여하는 시기에 따라서 통계적인 유의차가 인정되었다. 적혈구용적비(hematocrit, HCT)는 C와 비교할 때 T1, T3, T2가 12.13-17.08% 유의하게 높았으나 T2, T3 사이의 차이는 없었다. RBC는 T1에서 기타 처리구와 비교할 때 3.00% 유의하게 높았다. 헤모글로빈(hemoglobin, HGB)은 C와 비교할 때 T1, T2 28.53%, T3 18.65% 유의하게 높았으나 T1, T2 사이의 유의차는 인정되지 않았다. 평균 적혈구 용적(mean cell volume, MCV)은 C와 비교할 때 T3 5.81%, T1 5.27%, T2 3.89% 유의하게 높았으나 T1, T3 사이의 차이는 없었다. 적혈구 크기 분포(red blood cell distribution width, RDW)는 C와 비교할 때 T2, T1이 각각 17.08, 1.01% 높았으나 T3는 10.36% 유의하게 낮았다. 혈소판(platelet, PLT)은 C와 비교할 때 T3, T2가 각각

5.08, 2.92% 유의하게 높았으나 T1, T2, T3 사이 및 T1, C 사이의 차이는 없었다. 혈소판 용적치(plateletcrit, PCT)는 C와 비교할 때 T1, T2가 각각 7.93, 1.60% 높았으나 T2, C 사이의 유의차는 인정되지 않았고 T3는 3.98% 유의하게 낮았다. 평균 혈소판 용적(mean platelet volume, MPV)은 각 처리군 사이의 유의차가 인정되지 않았다. 본 연구에서 폭염 대조군의 적혈구와 혈소판 프로파일이 베타인 사료의 급여시기별 처리구에 비해서 유의하게 낮았던 점은 고온 스트레스에 노출된 브로일러에서 HI가 감소하였다는 보고와 일치한다[23]. 결과는 폭염 스트레스에 노출된 오리에게 베타인 800 ppm 함유하는 사료의 급여시기를 오전, 오후로 구분하여 제한급여로써 조절해주면 영양대사 불균형으로 발생하는 혈액학적 지표 감소를 예방해줌으로써 폭염 스트레스 피해를 완화시켜주는 것으로 나타났다. 폭염 스트레스에 노출된 오리에서 HCT 감소는 적혈구 손상, 적혈구 생산 감소 또는 적혈구 숫자와 크기 감소[24] 및 스트레스에 노출되는 동안 물 섭취

Table 1. Blood biochemical parameters of meat duck according to feeding times and betaine diet under scorching heat wave

	Groups ¹⁾			
	C	T1	T2	T3
RBC ²⁾				
HCT (%)	33.47±0.55 ^c	39.43±0.62 ^a	37.53±0.41 ^b	37.90±0.43 ^b
RBC (M/ μ L)	2.67±0.13 ^b	2.75±0.12 ^a	2.66±0.06 ^b	2.66±0.07 ^b
Hb (g/dL)	14.37±0.22 ^c	18.40±0.07 ^a	18.47±0.16 ^a	17.05±0.16 ^b
MCV (fL)	136.00±2.62 ^c	143.17±1.22 ^a	141.30±0.78 ^b	143.90±0.82 ^a
RDW (%)	46.33±0.35 ^b	46.80±0.27 ^b	49.23±0.77 ^a	41.53±0.36 ^c
Platelets				
PLT (K/ μ L)	7.87±0.12 ^b	7.90±0.32 ^{ab}	8.10±0.16 ^a	8.27±0.22 ^a
PCT (%)	42.00±0.33 ^b	45.33±0.36 ^a	42.67±0.16 ^b	40.33±0.36 ^c
MPV (fL)	0.07±0.002	0.07±0.001	0.07±0.001	0.06±0.005

¹⁾C: heat wave control group without betaine, T1: *ad libitum* group fed a diet containing 800 ppm betaine, T2: diet-restricted group fed twice daily between 05:00-10:00 and 17:00-20:00, using a diet containing 800 ppm betaine, T3: night-restricted group, fed from 17:00-10:00, with a diet containing 800 ppm betaine. ²⁾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±SE(n=6).^{a,b,c}(p<0.05).

량 증가로써 류코사이트를 포함한 혈액세포 농도 희석에 기인하였을 것으로 본다[25]. 정상적인 동물의 경우 HI는 사료의 품질과 정의 상관성이 있으며 결과에서 처리구가 폭염 대조군과 비교할 때 HI가 높았던 점은 베타인이 어느 정도 사료품질 향상에 기여하였을 것으로 볼 수 있다[16]. 정상적인 환경조건에서 인간과 동물의 생체 내 적혈구와 헤모글로빈의 감소는 철분 결핍성 빈혈을 일으키는 데 폭염 스트레스는 세포 밖으로 나오는 수분증발을 구성하는 혈장용적의 변화가 없어도 물 섭취증가로써 혈액희석이 일어나고 궁극적으로 이들 숫치가 낮아질 수 있다[26].

3.3. 혈액 전해질

폭염 스트레스에 노출된 육용오리에서 혈액 전해질에 관한 베타인 800 ppm 사료의 급여시기 조절효과는 Table 2와 같다. 혈액 전해질은 베타인 사료의 급여시기 조절군이 대조군에 비하여 유의하게 높았으며 K⁺에서 차이가 없었음을 제외하면 베타인 사료를 오전, 오후로 구분하여 급여해준 T2가 다른 두 개의 처리군에 비해서 유의하게 높았다. Na⁺은 C와 비교할 때 T2, T1, T3 순서로 각각 12.34, 5.11, 4.12% 높았으나 T1, T3 사이의 유의차는 없었다. K⁺는 C와 비교할 때 T2, T3, T1 순서로 각각 61.13, 53.85, 37.25% 유의하게 높았으나 이들 처리구 사이의 유의차는 없었다. Cl⁻은 C와 비교할 때 T2, T1, T3 순서로 각각 2.86, 1.47, 1.28% 유의하게 높았으나 T1, T3 사이의 차이는 없었다. 결과는 폭염 스트레스 하에서 오리에게 베타인 800 ppm 함유사료를 오전, 오후로 구분하여 급여해주면 혈액 전해질을 일정하게 유지해줌으로써 삼투압을 조절하여 폭염 스트레스 저감효과를 기대할 수 있다는 점을 보여준다. 폭염 스트레스를 받은 일

반 대조군에서 나타난 결과는 가금과 버펄로 소에서 폭염 스트레스의 결과로서 혈액 Na⁺, K⁺, Cl⁻이 낮아졌다는 보고와 일치한다[6, 27]. 생체에서 사용되는 에너지의 30~60%는 sodium-potassium ATP pump와 관련이 있으며 이는 세포 내의 수분균형 유지에 중요하고 베타인에 의한 삼투압 조절은 세포증식을 촉진하는데 도움이 된다[11, 28]. 폭염 스트레스 하에서 가금은 혈떡 거름을 반복하는 개구호흡 사이클을 나타냄으로써 호흡성 알칼리증의 고통을 받게 된다. 개구호흡을 통하여 호흡기로부터 수분을 증발시켜 열을 발산하고 혈중 이산화탄소의 배출이 증가하며 혈액 pH가 상승함으로써 호흡성 알칼리증을 유발한다. 호흡성 알칼리증은 노 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[6, 29]. 급성 열 스트레스 동안 체온이 상승함으로써 Na⁺ 농도가 낮아지며 세포막 침투성 변화에 기인하여 조직의 K⁺가 혈액 속으로 나오는 혈액희석이 발생한다. 열 스트레스 후 K⁺의 위치변경 현상이 약해지면 과잉의 K⁺가 배설되어 혈액 K⁺ 농도는 정상으로 회복되거나 또는 낮아진다. 폭염 대조군에서 혈액 Cl⁻이 감소한 점은 폭염 스트레스로서 알칼리 호흡으로 혈액 pH가 높아지고 혈액 pH를 정상화하기 위한 산성화 작용을 가속화하기 위해 체액에서 더 많은 Cl⁻이 필요하기 때문으로 볼 수 있다[6]. 혈액 전해질의 이러한 감소는 폭염 스트레스를 완화시키기 위하여 주로 소변, 땀으로 배설되는 전해질의 손실량 증가에 기인하여 발생한다 [27].

Table 2. Blood electrolytes of meat duck according to feeding times and betaine diet under scorching heat wave (mmol/L)

	Groups ¹⁾			
	C	T1	T2	T3
Sodium (Na ⁺)	131.77±0.41 ^c	138.50±0.37 ^b	148.03±0.42 ^a	137.20±0.33 ^b
Potassium (K ⁺)	2.47±0.38 ^b	3.39±0.43 ^a	3.98±0.31 ^a	3.80±0.41 ^a
Chloride (Cl ⁻)	104.73±0.22 ^c	106.27±0.51 ^b	107.73±0.27 ^a	106.07±0.42 ^b

¹⁾The same as Table 1. Mean values±SE(n=6). ^{a,b,c}(p<0.05).

3.4. 혈액 가스

폭염 스트레스에 노출된 육용오리에서 혈액 가스 농도에 관한 베타인 800 ppm 함유사료의 급

여시기 조절효과는 Table 3, Fig. 1과 같다. 혈액 가스는 전체 처리군 가운데서 폭염 대조군이 가장 낮았으며 베타인 사료의 급여시기에 따른

Table 3. Blood gas of meat duck according to feeding times and betaine diet under scorching heat wave

	Groups ¹⁾			
	C	T1	T2	T3
PCO2 (mmHg)	29.90±0.34 ^c	38.77±0.41 ^a	36.30±0.24 ^b	37.80±0.34 ^a
PO2 (mmHg)	53.33±0.24 ^c	62.02±0.14 ^a	62.05±0.11 ^a	59.34±0.24 ^b
BE _{ecf} (mmol/L)	-7.05±0.17 ^c	-5.16±0.17 ^b	-4.33±0.04 ^a	-5.33±0.15 ^b
HCO ₃ (mmol/L)	17.53±0.41 ^c	20.97±0.11 ^a	21.15±0.04 ^a	19.50±0.02 ^b
TCO ₂ (mmol/L)	16.67±0.11 ^c	21.67±0.10 ^b	22.33±0.11 ^a	22.67±0.14 ^a

¹⁾The same as Table 1. Mean values±SE(n=6). ^{a,b,c}(p<0.05).

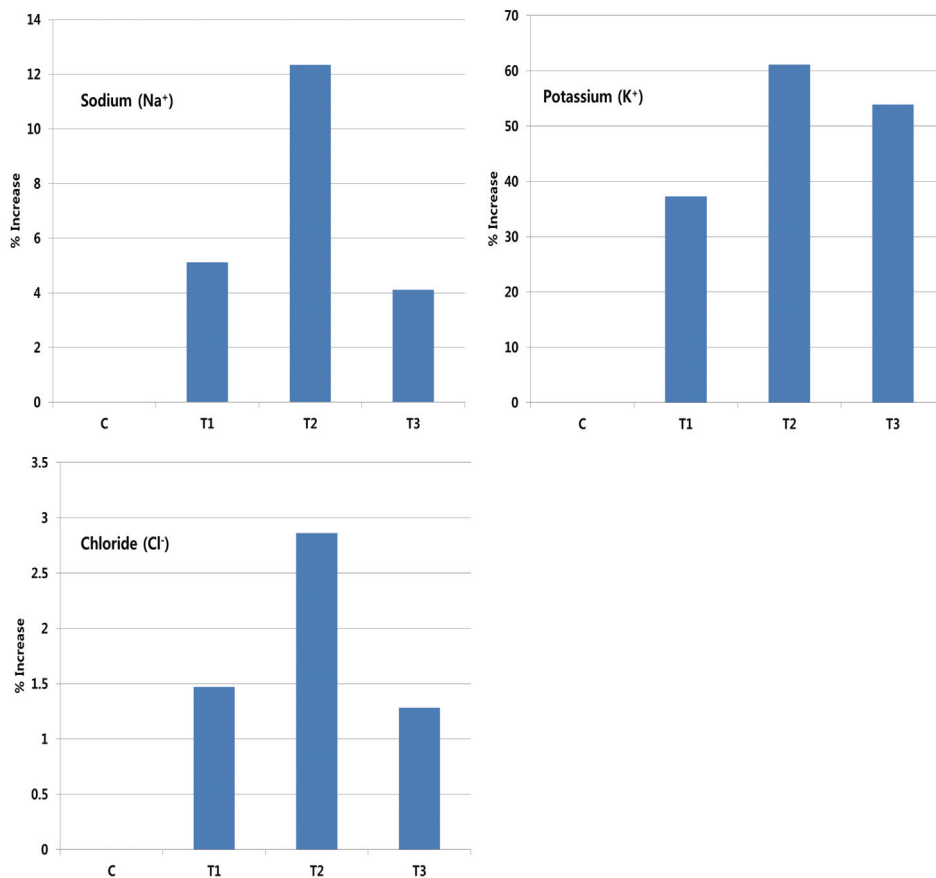


Fig. 1. Changes in blood electrolytes of meat duck according to feeding times and betaine diet under scorching heat wave

유의차가 인정되었다. 혈액 가스 농도는 베타인 사료를 오전, 오후로 구분하여 급여해준 T2가 다른 두 개의 처리군에 비해서 일반적으로 높은 경향을 보였다. PCO₂는 C와 비교할 때 T1, T3, T2 순서로 각각 29.67, 26.42, 21.40% 유의하게 높았으나 T1, T3 사의의 차이는 없었다. PO₂는 C와 비교할 때 T2, T1, T3 순서로 각각 16.35, 16.29, 11.27% 유의하게 높았으나 T1, T2 사의의 차이는 없었다. BEecf는 C와 비교할 때 T2, T1, T3 순서로 각각 38.58, 26.80, 24.40% 유의하게 높았으나 T1, T3 사의의 차이는 없었다. HCO₃는 C와 비교할 때 T2, T1, T3 순서로 각각 20.65M 19.62, 11.24% 유의하게 높았으나 T1, T2 사의의 차이는 없었다. TCO₂는 C와 비교할 때 T3, T2, T1 순서로 각각 35.99, 33.95, 29.99% 유의하게 높았으나 T2, T3 사의의 차이는 없었다. 결과는 폭염 스트레스 하에서 오리에게 베타인 800 ppm 함유사료를 오전, 오후로 구분하여 급여해주면 베타인이 지닌 약리학적 기작을 경유하여 혈액 가스를 일정하게 유지해줌으로써 폭염 스트레스 저감효과를 기대할 수 있다는 점을 나타낸다. 가금에서 폭염 스트레스는 혈액 가스를 낮추며 베타인은 이를 방지하는 약리학적 기작을 지닌 것으로 알려져 있으나 오리에 대해서는 거의 보고되지 않았다[15]. 브로일러에서 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

[6].

3.5. 맹장 짧은 사슬지방산

폭염 스트레스에 노출된 육용오리의 맹장 내 짧은 사슬지방산(SCFA)에 관한 베타인 800 ppm 함유사료의 급여시기 조절효과는 Table 4, Fig. 2 와 같다. 총 SCFA, 초산, 프로피온산은 베타인 사료의 급여시기 처리구가 폭염 대조구와 비교할 때 높았으나 이와 반대로 뷰티르산, 이소뷰티르산, 발레르산, 이소발레르산은 유의하게 낮았다. 총 SCFA는 C와 비교할 때 T2, T1, T3 순서로 각각 39.40, 34.67, 33.42% 유의하게 높았으나 T1, T2 사의의 차이는 없었다. 초산은 C와 비교할 때 T2, T3, T1 순서로 각각 93.59M 81.28, 70.22% 유의하게 높았으나 T1, T3 사의의 차이는 없었다. 프로피온산은 C와 비교할 때 T2, T3, T1 순서로 각각 56.26, 49.96, 47.13% 유의하게 높았으나 T2, T3 사의의 차이는 없었다. 뷰티르산은 C와 비교할 때 T2, T3, T1 순서로 각각 80.70, 72.22, 32.15% 유의하게 낮았으며 처리구 간 통계적 유의성이 인정되었다. 이소뷰티르산은 C와 비교할 때 T3, T2, T1 순서로 각각 69.74, 68.25, 62.31% 유의하게 낮았으나 T2, T3 사의의 차이는 없었다. 발레르산은 C와 비교할 때 T2, T3, T1 순서로 각각 67.22, 62.67, 28.96% 유의하게 낮았으나 T2, T3 사의의 차이는 없었다. 이소발레르산은 C와 비교할 때 T1, T2, T3 순서로 각각 31.57, 30.12, 23.61% 유의하게 낮았으나 처리구 간 통계적 유의성은 없었다. 본 결과, 베타인 800 ppm 함유사료의 급여시기에

Table 4. Cecal short chain fatty acids (SCFA) of meat duck according to feeding times and betaine diet under scorching heat wave ($\mu\text{mol/g}$ of cecum content)

SCFA	Groups			
	C	T1	T2	T3
Acetic acid	88.59 \pm 3.17 ^c	150.8 \pm 4.38 ^b	171.5 \pm 2.34 ^a	160.6 \pm 4.27 ^b
Propionic acid	58.05 \pm 1.14 ^c	85.41 \pm 1.92 ^b	90.71 \pm 2.25 ^a	87.05 \pm 2.77 ^a
Butyric acid	25.13 \pm 0.35 ^a	17.05 \pm 0.18 ^b	4.85 \pm 0.17 ^d	6.98 \pm 0.17 ^c
Isobutyric acid	13.45 \pm 0.14 ^a	5.07 \pm 0.33 ^b	4.27 \pm 0.32 ^c	4.07 \pm 0.17 ^c
Valeric acid	9.67 \pm 0.12 ^a	6.87 \pm 0.25 ^b	3.17 \pm 0.22 ^c	3.61 \pm 0.15 ^c
Isovaleric acid	4.15 \pm 0.12 ^a	2.84 \pm 0.27 ^b	2.90 \pm 0.17 ^b	3.17 \pm 0.28 ^b
Total SCFA	199.0 \pm 3.12 ^c	268.0 \pm 2.28 ^a	277.4 \pm 3.01 ^a	265.5 \pm 3.17 ^b

¹⁾The same as Table 1. Mean values \pm SE(n=6). ^{a,b,c,d}(p<0.05).

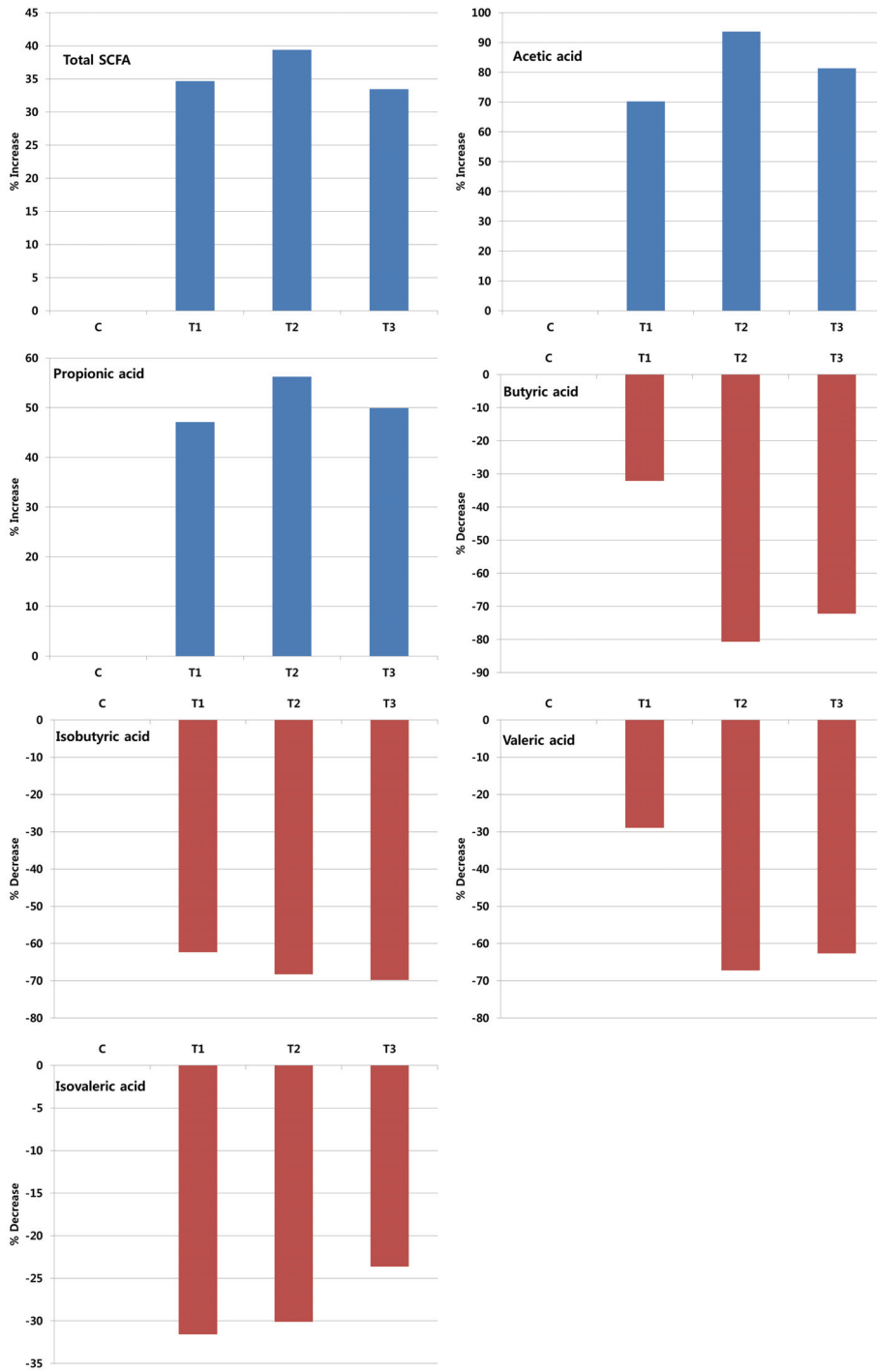


Fig. 2. Changes in cecal short chain fatty acids (SCFA) of meat duck according to feeding times and betaine diet under scorching heat wave

따른 처리구의 맹장에서 유의한 총 유기산, 초산과 프로피온산이 증가한 반면에 유해한 뷰티르산과 발레르산이 감소한 점은 동물의 장내 미생물 환경조절을 통한 면역능력 향상으로 폭염 스트레스 완화효과를 나타낼 것으로 생각할 수 있다 [30]. 폭염 스트레스에 노출된 브로일러에서 초산, 프로피온산 등의 짧은 사슬지방산이 낮아졌고 젖산균이 감소하며 [18] 젖산균 발효로부터 생성된 대부분의 유기산은 유해균에 의한 장 균락화를 억압하여 면역능력을 부여할 수 있다는 점이 알려졌다 [31].

4. 결론

폭염 스트레스에 노출된 육용오리의 생산성에 관한 베타인 800 ppm 함유사료의 급여시기에 따른 맹장 내 짧은 사슬지방산, 혈액학적 프로파일 및 생산성의 변화를 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 적혈구 및 혈소판의 프로파일 가운데 베타인 사료의 무제한 급여군에서 PLT, MPV를 제외한 기타 변수들은 베타인 사료의 급여시기 조절군이 베타인 무첨가 폭염 대조군에 비해서 높았으며 베타인 사료의 급여시기에 따라서 각 처리구 간 통계적인 유의차가 있었다.
3. 혈액 전해질 K^+ 를 제외한 Na^+ , Cl^- 은 베타인 사료의 오전, 오후 제한급여 처리구가 유의하게 가장 높았다.
4. 혈액 PCO_2 를 제외한 PO_2 , BEecf, HCO_3^- , TCO_2 는 베타인 사료의 오전, 오후 제한급여 처리구가 일반적으로 높은 경향을 나타냈다.
5. 총 SCFA, 초산, 프로피온산은 베타인 함유사료의 오전, 오후 제한급여 처리구가 높은 경향을 나타냈으나 이와 반대로 뷰티르산, 이소뷰티르산, 발레르산은 일반적으로 낮았다.
6. 42일 출하체중은 베타인 사료의 오전, 오후 제한급여 처리구가 유의하게 가장 높았다.

본 연구는 베타인 800 ppm 함유사료의 오전, 오후 제한급여가 24시간 무제한 급여 및 야간 제한급여와 비교할 때 폭염에 노출된 오리의 생체 내 짧은 사슬지방산과 혈액 프로파일의 향상성 유지 기작을 경유하여 생산성 개선효과를 나타낸다는 점을 시사해준다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 2014년 아젠다사업 (PJ010088) 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. 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 (2013).
2. 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 (2008).
3. 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 (2012).
4. M. A. M. Sayed, and J. Downing, The effects of water replacement by oral rehydration fluids with or without betaine supplementation on performance, acid-base balance, and water retention of heat-stressed broiler chickens, *Poultry Science*, **90**, 157 (2011)
5. 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 (2014).
6. 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 (2004).
7. 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 (2014).
 8. M. Toyomizu, M. Tokuda, M. Ahmad, and Y. Akiba, Progressive alteration to core temperature, respiration and blood acid-base balance in broiler chickens exposed to acute heat stress, *Jpn. Poult. Sci*, **42**, 110 (2005)
 9. 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 (2007).
 10. M. Eklund, E. Bauer, J. Wamatu, and R. Mosenthin, Potential nutritional and physiological functions of betaine in livestock, *Nutr. Res. Rev*, **18**, 31 (2005).
 11. J. Remus, Betaine for increased breast meat yield in turkeys, *World Poultry*, **17**, 14 (2001).
 12. I. S. A. Zulkifi, Mysahra, and L. Z. Jin, Dietary supplementation of betaine (betafin [R]) and response to high temperature stress in male broiler chickens, *Asian-Aust. J. Anim. Sci*, **17**, 244 (2004).
 13. A. Ratriyanto, R. Mosenthin¹, E. Baueri, and M. Eklund, Metabolic, osmoregulatory and nutritional functions of betaine in monogastric animals, *Asian-Aust. J. Anim. Sci*, **22**, 1461 (2009).
 14. 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 (2004).
 15. 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. Poult. Sci*, **34**, 453 (2014).
 16. J. Hwangbo, H. T. Bang, H. K. Kang, I. S. Yuh, and B. S. Park, Effect of dietary betaine on short chain fatty acid and blood profile in meat duck exposed to extreme heat stress, *Kor J. Oil Chem*, Submit (2015).
 17. M. Sahraei., Feed restriction in broiler chickens production: A review, *Global Veterinaria*, **8**, 449 (2012).
 18. S. O Park, B. S. Park, J. Hwangbo, and H. C. Choi, Effects of cooling water and inverse lighting on short chain fatty acid and blood lipid of broiler chickens in closed poultry house during hot weather, *Kor J. Oil Chem*, **31**, 31 (2014).
 19. SAS, SAS/STAT User's Guide: Statistics. Version 6.0. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina. USA (2005).
 20. H. Lin, H. C. Jiao, J. Buyse, and E. Decuypere, Strategies for preventing heat stress in poultry, *World's Poult. Sci. J*, **62**, 71 (2006).
 21. L. D. G. Bruno, Maiorka. A, Macari. M, Furlan. RL, Givisiez. PEN, Water intake behavior of broiler chickens exposed to heat stress and drinking from bell or and nipple drinkers, *Brazilian Journal of Poultry Science*, **13**, 147 (2011).
 22. M. Sahraei, Feed restriction in broiler chickens production: A Review, *Global Veterinaria*, **8**, 449 (2012).
 23. W. Aengwanich, Effects of high environmental temperature on blood indices of thai indigenous chickens, thai indigenous chickens crossbred and broilers, *Int. J. Poult. Sci*, **6**, 427 (2007).
 24. 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, *Poult. CRC Press. Florida*, **1**, 71 (2000).

25. 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 (2013).
26. M. K. Turkyilmaz, Effect of stocking density on stress reaction in broiler chickens during summer, *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*, **32**, 31 (2008).
27. 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**(6), 880 (2010).
28. 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 (2004).
29. S. A. Borges, A. V. F. D. Silva, and A. Maiorka, Acid-base balance in broilers, *WPSA*, **63**, 73 (2007).
30. G. R. Gibson, and R. A. Rastall, Prebiotics: Development and application. John Wiley and Sons, Ltd, USA (2006).
31. 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 (2002).