극미약광이 이유자돈의 성장과 산화효소에 미치는 영향

박세린¹ · 문준영¹ · 하상훈¹ · Tajudeen Habeeb Temitope¹ · Hossindoust Abdolreza³ · 박미정⁴ · 김진수^{2*}
강원대학교 동물생명과학대학 동물산업융합학과 대학원생¹; 강원대학교 동물생명과학연구소 연구원³; (주)바이오라이트 대표이사⁴; 강원대학교 동물생명과학대학 동물산업융합학과 교수²

Effects of Ultra-weak Light on Oxidant Status and Stress in Weanling Pigs

Se Rin Park¹, Jun Young Mun¹, Sang Hun Ha¹, Tajudeen Habeeb Temitope¹, Hosseindoust Abdolreza³, Mi Jeong Park⁴ and Jin Soo Kim^{2*}

¹Graduate student, ²Professor, Department of Animal Industry Convergence, College of Animal Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

³Researcher, Institute of Animal Life Science, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

⁴Representative director, Biolight Corporation, Hanam 12982, Korea

ABSTRACT

Weaning stress is the most common issue in weanling pigs, and increases diarrhea and mortality. Various wavelengths of light irradiation affect the body owing to the association with biophotons. Biophotons are very weak photons in the visible light range generated during metabolic and chemical reactions *in vivo*. Immune mechanisms are activated by increasing signal transmission between cells through biophoton emission. This study evaluated the influence of ultra-weak light (LED) on growth performance, antioxidant status, and stress of weaned piglets. A total of 120 weaned pigs with an average initial body weight of 7.04±0.01 kg (age: 21 d) were allotted to two treatments (Control and LED) with 10 replicates. Diets prepared in pellet form were administered to the pigs in three phases including Phase 1 (0-14 d), Phase 2 (15-28 d), and Phase 3 (29-42 d). At the end of the study, the average daily gain (8.96%, $p<0.05$) and feed efficiency (6.56%, $p<0.05$) of pigs was significantly increased at phase 3 in the LED treatment. Low concentration of malondialdehyde (12.58%, $p<0.05$) and high concentrations of glutathione reductase (7.41%, $p<0.01$) and total antioxidant capacity (5.48%, $p<0.05$) were observed in the LED treatment at Day 42. The concentration of hair cortisol was also decreased (24.05%, $p<0.05$) in the LED treatment at Day 42. In conclusion, the use of LED for weanling pigs is recommended to improve growth performance by modulating antioxidant capacity and cortisol level in hair.

(Key words: Weanling pigs, Irradiation, Light emitting diode, Oxidant status, Hair cortisol)

I. 서론

이유자돈은 모돈으로부터 분리와 사료 형태 및 갑작스러

운 환경변화를 직면하게 된다. 또한 소화되지 않은 영양소가 장 내에서 유해균 증식을 통해 장 손상과 면역력을 약화시킨다(Lee et al., 2016; Hosseindoust et al., 2017; Moturi

* Corresponding author: Jin Soo Kim, Department of Animal Industry Convergence, College of Animal Life Science, Kangwon University, Chuncheon 24341, Korea. Tel: +82-33-250-8614, E-mail: kjs896@kangwon.ac.kr

et al., 2021). 특히 장 손상은 이유자돈 시기의 장 발달을 저해하고 영양소 흡수를 감소시킨다(Adam et al., 2017).

이에 대한 문제점을 해결하기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있는 가운데, 최근 시설적 개선을 위한 연구가 이루어지고 있다. 사육시설을 개선하는 것은 돼지의 복지와 건강에 영향을 미치며, 조명의 다양한 조도와 파장은 돼지의 사양성적, 생리, 면역 및 복지에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Sharideh and Zaghari, 2017; Oh and Jung, 2019; Zamanizad et al., 2019). 특정 파장의 조사는 가축의 생산성 개선의 효과가 있는 것으로 알려지며 다양한 파장의 효과 규명에 대한 연구가 일부 진행되고 있다. 그 중, 바이오포톤은 생체 내 대사 및 화학반응 시 생성되는 가시광선의 극미약광으로 바이오포톤 방출 시 세포 간 신호 전달을 증가시켜 면역 기전이 활성화된다(Rahnama et al., 2011). 현재 임상 연구에서 특정 파장에 따라 혈관 확장과 우울 감소, 생체 리듬 이상, 면역 상태에 영향을 미친다는 것이 입증되었다(Lugongolo et al., 2017; Gavish et al., 2020; Van Tran et al., 2021). 또한, Van Tran 등(2021)에 의하면 610~710nm인 파장을 광조사 시 항염증작용과 조직 생체자극, 통증 완화작용과 같은 효과가 있는 것으로 나타났으며, 가금류에서 닭의 체중, 생체 리듬, 면역 기능과 육계의 행동에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Sharideh and Zaghari, 2017; Liu et al., 2018; Zamanizad et al., 2019). 하지만 양돈 분야에서는 사양성적에 미치는 영향에 대한 연구가 거의 진행되지 않았다.

이전 연구들에서 광 조사가 염증성 사이토카인의 작용에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Van Tran et al., 2021). Lee 등(2023)의 연구에서 500~780nm 파장의 광조사 시 TNF- α 와 IL-1 β , IL-6을 유의적으로 감소하였으며, Martins 등(2016)은 950nm의 파장에서는 IL-10가 유의적으로 감소하였다고 보고하였다. TNF- α 나 IL-1 β 와 같은 염증성 사이토카인이 호중구 및 대식세포 활성을 통해 염증 반응과 동시에 활성산소를 높은 수준으로 생성하게 한다(Verri et al., 2010; Akdis et al., 2011). 항염증성 사이토카인인 IL-10은 superoxide 음이온 생성을 억제하며, nicotinamide adenine dinucleotide phosphate oxidase (NADPH 산화효소)의 발현을 감소시킨다(Kassan et al., 2011). 이에 면역 지수 개선에 대한 광조사 파장을 바탕으로 이유 스트레스 시 이유자돈의 사양성적과 스트레스 및 건강에 대한 효과를 낼 수 있다고 가정한다.

광조사가 면역력 개선에 대한 효과로 입증되면서 가축의 사양성적에 대한 연구가 이루어지고 있지만, 극미약광이 이유자돈에게 미치는 생리적 효과에 대한 연구가 미비

하며 이에 대한 조사가 필요하다. 따라서 본 연구는 500~780nm 파장을 보유하고 있는 LED의 광조사 시 사양성적, 산화효소 및 hair cortisol에 미치는 영향에 대해 평가하고자 설계되었다.

II. 재료 및 방법

1. 광조사

조명은 Light emitting diode(LED) 기반 광조사기(Biolight Corporation, Hanam, Korea)으로 사용하였으며, 수동형 광학 부품으로 광학 특성을 조절하여 분광 기기(CAS 140 CT; Instrument Systems GmbH, Germany)로 스펙트럼을 측정하였다. 파장이 500~780nm인 부분 편광을 구현해서 바닥으로부터 2.1m 높이에 위치하여 빛이 닿지 않는 사각지대 없이 모두 조사하도록 설치하였다. 703nm의 첨두 파장에서의 분광 조사광도와 조도는 각 $5.1 \times 10^{-11} \text{W/cm}^2 \cdot \text{nm}$ 와 $5.2 \times 10^{-9} \text{W/cm}^2$ 이었다. 실험동물의 행동을 제한하지 않게 설계되었으며, 광원에서 방사되는 빛이 피부 전체에 영향을 받도록 하였다. 조명은 실험 전체 기간인 42일 동안 24시간 조사되었다.

2. 시험설계, 공시동물 및 사양관리

파장 500~780nm인 LED 처리에 따른 영향을 알아보기 위하여 이유자돈(Landrace $\times$ Yorkshire $\times$ Duroc, 21일령 $7.04 \pm 0.01 \text{kg}$) 120두를 공시하였고, 시험기간은 Phase 1(0-14d), Phase 2(15-28d), Phase 3(29-42d)의 단계로 나누어 총 6주간(0-42d) 실시하였다. 처리구는 Control과 LED로 두 처리구로 나뉘어 진행하였으며, 각 처리구 당 10반복, 반복당 6두씩 완전임의 배치하였다. 시험사료는 단계별 영양소 요구량(NRC, 2012)에 충족하거나 초과하여 배합하였고(Table 1) 사료와 물은 자유채식하도록 하였다. 그 외 이유자돈의 사양관리는 본 연구실의 관행에 준해 실시하였으며 각 우리는 플라스틱 바닥($1,200 \text{cm} \times 2,400 \text{cm}$)에 금속 칸막이로 둘러싸여 있었다. 돈사 내 온도는 실험 시작 시 30 $^{\circ}\text{C}$ 로 조정하였고 8일차 이후 25 $^{\circ}\text{C}$ 로 점차 감소하였으며 습도는 61~66%로 유지하였다.

3. 사양성적

이유자돈의 체중을 실험개시 및 2, 4, 6주차에 측정해

Table 1. Formula and chemical composition of basal diets (as-fed basis)

Items	Phase 1	Phase 2	Phase 3
Ingredients (%)			
Corn	43.14	47.60	54.61
Fish meal	5.00	3.00	3.00
Dehulled soybean meal	24.68	29.72	26.21
Whey powder	17.00	15.37	11.33
Soybean oil	3.33	1.60	1.50
Monocalcium phosphate	0.42	0.35	0.49
Limestone	0.79	0.87	0.95
Salt	0.30	0.30	0.30
L-lysine	0.33	0.28	0.39
DL-methionine	0.15	0.06	0.39
L-threonine	0.14	0.13	0.13
L-tryptophan	0.22	0.17	0.15
Vitamin premix ¹⁾	0.25	0.25	0.25
Mineral premix ²⁾	0.25	0.25	0.25
Choline chloride	0.05	0.05	0.05
Lactose	3.95	-	-
Total	100.00	100.00	100.00
Calculated composition (%)			
ME (kcal/kg)	3,400	3,350	3,300
CP	23.00	21.00	19.00
Ca	0.80	0.70	0.66
Available P	0.42	0.36	0.33
SID Lys	1.35	1.23	1.23
SID Met+Cys	0.74	0.68	0.63

¹⁾Supplied per kilogram of diet: 16,000 IU vitamin A, 3,000 IU vitamin D₃, 40 IU vitamin E, 5.0 mg vitamin K₃, 5.0 mg vitamin B₁, 20 mg vitamin B₂, 4 mg vitamin B₆, 0.08 mg vitamin B₁₂, 40 mg pantothenic acid, 75 mg niacin, 0.15 mg biotin, 0.65 mg folic acid.

²⁾Supplied per kilogram of diet: 45 mg Fe, 0.25 mg Co, 50 mg Cu, 15 mg Mn, 25 mg Zn, 0.35 mg I, 0.13 mg Se.

Abbreviation : ME, metabolizable energy; CP, crude protein; Ca, calcium; P, phosphorus; SID, standardized ileal digestibility.

증체량을 산출하였다. 체중 측정 시 사료급여기의 잔량을 측정해 사료 섭취량을 계산하였다. 증체량 및 사료섭취량을 사육일수로 나눠 일당증체량(average daily gain, ADG)과 일당사료섭취량(average daily feed intake, ADFI)을 계산하였다. 사료효율(weight gain to feed intake ratio, G:F)은 일당증체량에서 일당사료섭취량을 나누어 계산하였다.

4. 혈액 성상

혈액성상 분석은 실험이 종료되는 시점에 모든 돼지의 경정맥에서 혈액을 채취하여 separate serum tube(SST)에 5mL씩 담았다. 채취한 혈액은 원심분리기에서 5°C,

3,000RPM 조건으로 20분간 혈청을 분리하였고 분리된 시료는 분석 전까지 -20°C에 보관하였다. 혈청에서의 항산화효소 활성을 분석하기 위해 Cayman kit(Enzyme activity assay, Cayman Chemical, USA)의 메뉴얼에 기술된 방법과 같이 전처리 및 분석하였다. Superoxide dismutase(SOD, Cat #706002), Malondialdehyde(MDA, Cat #10006438), catalase(CAT, Cat #707002), Glutathione reductase(GR, Cat #703202), Total antioxidant capacity(TAC, Cat #709001)를 분석하였다. 각 kit의 메뉴얼에 맞게 Serum sample과 standard를 준비하고 각각의 동봉되어 있는 시약을 준비한다. 96 well micro-plate에 sample를 투여하고 준비된 시약을 추가로 투여해 반응시킨다. 분석 방법에 맞게 각각의 산화효소들이 반응하도록

진행하여 stop solution를 사용해 반응을 정지 후 micro-plate reader(Power Wave XS, BioTeK, Winooski, VT, USA)를 이용해 흡광도를 측정하였다.

혈액 cortisol 수준은 ELISA kit(Endocrine Technologies Inc., USA)를 이용하여 매뉴얼에 준해서 분석하였다. 96 well micro-plate에 serum sample(cortisol)를 25 μ l 투여 후 각 well에 cortisol enzyme conjugate(HRP Conjugate)을 100 μ l 투여하여 37 $^{\circ}$ C에서 1시간동안 반응시켰다. well을 4회 세척한 후, 각 well에 TBM color reagent 100 μ l를 투여 후 20분 동안 배양시켰다. Stop solution(2N HCl) 50 μ l를 각 well에 투여하여 반응을 정지시킨 후 micro-plate reader (Power Wave XS, BioTeK, Winooski, VT, USA)를 이용해 흡광도를 측정하였다.

5. 통계적 분석

본 실험에 측정된 데이터의 유의성은 SAS(SAS Inst., Inc., Cary, NC, US) 프로그램의 *t*-Test 을 이용하였으며, 이때 $p < 0.05$ 이면 통계적으로 유의성이 있다고 판단하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 사양성적

LED 처리에 따른 사양성적 결과는 Table 2와 같다. Phase 1와 Phase 2에서 일당증체량과 일당사료섭취량, 사료효율은 유의적인 차이가 나타나지 않았지만, Phase 3의 LED 처리구에서 일당증체량과 사료효율이 유의적으로 증가되었다($p < 0.05$). 또한, Overall에서 Control에 비해 사료효율이 증가되었다($p < 0.05$).

극미약광이 가금류에서 연구된 사례 중 Huth와 Archer (2015)은 510-610nm 파장의 광조사 시 사료요구율이 증가하였다고 보고하였으며, 다른 연구에서 450-630nm 파장의 광조사 시 가금류의 사양성적이 개선되었다고 보고하였다(Sharideh et al., 2017; Liu et al., 2018). 가금류뿐만 아니라 500~780nm 파장의 광조사에서 이유자돈의 사료효율이 개선되었다(Lee et al., 2023). 이러한 결과들이 본 연구 결과와 일치함을 알 수 있으며, 500~780nm 파장의 LED는 이유자돈의 성장에 있어 긍정적인 효과가 있기

Table 2. Effects of LED on growth performance in weanling pigs

Item	Control	LED	SEM	p-value
BW, kg				
Initial	7.04	7.03	0.01	0.579
Final	28.38	29.73	0.77	0.114
Phase 1 (d 0-14)				
ADG, kg	356	368	19.02	0.566
ADFI, kg	531	524	13.55	0.593
G:F	0.67	0.70	0.03	0.429
Phase 2 (d 15-28)				
ADG, kg	499	523	18.38	0.215
ADFI, kg	742	755	28.54	0.679
G:F	0.67	0.69	0.01	0.118
Phase 3 (d 29-42)				
ADG, kg	670	730*	23.55	0.032
ADFI, kg	1,195	1,197	28.73	0.937
G:F	0.56	0.61*	0.02	0.014
Overall (d 0-42)				
ADG, kg	508	540	18.38	0.115
ADFI, kg	823	825	19.89	0.910
G:F	0.61	0.65*	0.01	0.026

LED, light emitting diode; SEM, standard error of means; BW, body weight; ADG, average daily gain; ADFI, average daily feed intake; G:F, gain to feed ratio.

*Means statistically significant difference ($p < 0.05$).

때문으로 보여진다.

2. 항산화 활성

LED 처리에 따른 항산화 효소 활성은 Table 3과 같다. Phase 1과 Phase 2에서는 LED 처리에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았지만, Phase 3의 LED 처리구에서 MDA, GR, TAC는 Control에 비해 유의적으로 증가되었다($p < 0.05$).

Takhtfooladi 등(2014)과 Martins 등(2016)의 연구에 따르면 쥐에서 광조사 시 항산화 유기체인 SOD와 CAT의 수준이 개선되었음을 보고하였다. 바이오포톤은 미토콘드리아 활성화 및 미토콘드리아 내막에 따른 자극전자전달과 관련이 있으며(Van Tran et al., 2021), 단백질 합성뿐만 아니라 DNA 및 RNA 복제 활성화와 세포 증식과 관련된 ATP 생산을 증가시킨다(Liebert et al., 2023). Van Tran 등(2021)은 710nm 파장의 광조사 시 표피층에 도달하고 순환 림프구와 상호작용하여 면역글로불린 생산을 증가시킨다는 것을 보고하였다.

Reactive oxygen species(ROS)의 유도체는 뇌에서 신호

전달 역할을 하며, 생성된 ROS는 신호 경로에 사용되기 때문에 바이오포톤의 방출과 관련되어 있다(Rahnama et al., 2011). 뉴런의 전기 신호(산화환원)가 다양한 생물 발광반응에 의해 바이오포톤 신호로 변환되기에 ROS의 생성과 동시에 세포와 뉴런 내에서 바이오포톤을 생성한다(Rahnama et al., 2011). 이유 스트레스로 인한 ROS 농도 증가는 바이오포톤 생산을 증가시키고 증가된 바이오포톤은 면역글로불린 생성을 증가시켜 염증 지수를 감소시키는 것과 동시에 항산화 활성을 개선시킨 것으로 판단된다.

3. Hair cortisol 수준

LED 처리에 따른 Hair cortisol 수준은 Table 4와 같다. Phase 1과 Phase 2에서는 LED 처리에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았지만, Phase 2의 LED 처리구에서 hair cortisol 수준이 감소하는 경향을 나타냈다($p = 0.084$). Phase 3에서는 Control에 비해 hair cortisol이 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$).

Lee 등(2023)의 연구결과에서 500-780nm 파장의 광조

Table 3. Effects of LED on antioxidant status of weanling pigs

Item	Control	LED	SEM	p-value
d 14				
SOD, U/mL	109.83	117.67	6.19	0.235
MDA, ng/mL	51.32	48.89	1.56	0.149
CAT, U/mL	34.90	32.33	1.98	0.224
GR, ng/mL	2.00	2.01	0.09	0.471
TAC, mM	0.80	0.81	0.02	0.566
d 28				
SOD, U/mL	81.87	88.00	5.99	0.317
MDA, ng/mL	42.22	39.83	1.88	0.232
CAT, U/mL	27.70	29.92	1.20	0.099
GR, ng/mL	1.94	2.02	0.05	0.130
TAC, mM	0.72	0.76	0.03	0.164
d 42				
SOD, U/mL	71.33	80.67	4.92	0.110
MDA, ng/mL	40.39*	35.31	1.71	0.015
CAT, U/mL	24.47	25.48	1.12	0.385
GR, ng/mL	1.89	2.03*	0.04	0.007
TAC, mM	0.73	0.77*	0.03	0.044

LED, light emitting diode; SEM, standard error of means; SOD, superoxide dismutase; MDA, malondialdehyde; CAT, catalase; GR, glutathione reductase; TAC, total antioxidant capacity.

*Means statistically significant difference ($p < 0.05$).

Table 4. Effects of LED on hair cortisol level of weanling pigs

Cortisol, pg/ml	Control	LED	SEM	p-value
d 14	362.50	344.67	21.89	0.435
d 28	294.83	252.17	22.24	0.084
d 42	224.50*	170.50	19.89	0.022

LED, light emitting diode; SEM, standard error of means.

*Means statistically significant difference ($p < 0.05$).

사에서 이유자돈의 염증 지수 개선한다고 보고하였다. 본 연구 결과에서 LED 처리에 따라 항산화 활성이 개선되어 장 내 염증 반응이 감소하고 이에 따라 Cortisol 수치가 감소한 것으로 사료된다.

IV. 요약

광조사의 다양한 파장이 생체에 영향을 미치는데 생체 내 대사 및 화학반응 시 생성되는 가시광선의 극미약광은 세포 간 신호 전달을 증가시켜 면역 기전이 활성화될 수 있다. 본 연구는 이유자돈의 사양성적, 산화효소 및 스트레스에 대한 극미약광(LED)의 영향을 알아보기 위해 실시되었다. 이유자돈(Landrace×Yorkshire×Duroc, 21일령 7.04 ± 0.01 kg) 120두를 공시하였고, 시험 기간은 이유 후 3단계로 나뉘어 총 6주간 진행하였다(Phase 1(0-14d), Phase 2(15-28d), Phase 3(29-42d)). 처리구는 Control과 LED로 두 가지로 진행하였으며, 10반복, 반복당 6두씩 배치하였다. 연구 결과, LED 처리에 따라 Phase 3에서 일당증체량 8.96% 증가 및 사료효율 8.93% 개선되었으며, Overall에서 사료효율 6.56% 개선되었다. Malondialdehyde(MDA) 12.58%, glutathione reductase(GR) 7.41%, total antioxidant capacity(TAC) 5.48% 감소로 항산화효소 활성이 개선되었다. 또한 Phase 3에서 LED 처리에 따라 Hair cortisol의 농도가 감소하였다(24.05%, $p < 0.05$). 본 연구결과로 극미약광 조사는 이유자돈의 성장과 항산화 활성 및 스트레스를 개선하는데 도움이 되는 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 농림식품기술기획평가원(IPET)에서 기술사업화 지원 프로그램으로 수행됨(연구개발과제번호 : 281065-03).

V. 참고문헌

1. Akdis, M., Burgler, S., Cramer, R., Eiwegger, T., Fujita, H., Gomez, E., Klunker, S., Meyer, N., O'Mahony, L., Palomares, O., Rhyner, C., Ouaked, N., Schaffartzik, A., VanDe, W., Zeller, S., Zimmermann, M. and Akdis, CA. 2011. Interleukins, from 1 to 37, and interferon- γ : Receptors, functions, and roles in diseases. *J. Allergy. Clin. Immunol.* 127(3):701-721.e70.
2. Gavish, L., Hoffer O., Rabin N., Halak M., Shkilevich S., Shayovitz Y., Weizman G., Haim, O., Gavish, B., Gertz, D. and Ovadia-Blechman, Z. 2020. Microcirculatory response to photobiomodulation—Why some respond and others do not: A randomized controlled study. *Lasers Surg. Med.* 40(5):371-378.
3. Hosseindoust, A. R., Lee, S. H., Kim, J. S., Choi, Y. H., Kwon, I. K., and Chae, B. J. 2017. Productive performance of weanling piglets was improved by administration of a mixture of bacteriophages, targeted to control Coliforms and Clostridium spp. shedding in a challenging environment. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 101(5):e98-e107.
4. Huth, J. C. and Archer, G. S. 2015. Comparison of two LED light bulbs to a dimmable CFL and their effects on broiler chicken growth, stress, and fear. *Poult. Sci. J.* 94(9):2027-2036.
5. Kassin, M., Galan, M., Partyka, M., Trebak, M. and Matrougui, K. 2011. Interleukin-10 released by CD4+CD25+ natural regulatory T cells improves microvascular endothelial function through inhibition of NADPH oxidase activity in hypertensive mice. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* 31(11):2534-2542
6. Kim, K. H., Hosseindoust, A., Ingale, S. L., Lee, S.

- H., Noh, H. S., Choi, Y. H., Jeon, S. M., Kim, Y. H. and Chae, B. J. 2016. Effects of gestational housing on reproductive performance and behavior of sows with different backfat thickness. *J. Asian Afr.* 29(1):142-148.
7. Lee, C. B., Hosseindoust, A., Ha, S. H, Mun, J. Y., Moturi, J. N., Tajudeen, H., Park, M. J., Yang, J. S., Lee, S. C. and Kim, J. S. 2023. Improvement of weanling pigs immune status and metabolic condition using ultra-weak light. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 1-9
8. Lee, S. H., Hosseindoust, A. R., Kim, J. S., Choi, Y. H., Lee, J. H., Kwon, I. K. and Chae, B. J. 2016. Bacteriophages as a promising anti-pathogenic option in creep-feed for suckling piglets: Targeted to control *Clostridium* spp. and coliforms faecal shedding. *Livest. Sci.* 191:161-164.
9. Liebert, A., Capon, W., Pang, V., Vila, D., Bicknell, B., McLachlan, C. and Kiat, H. 2023. Photophysical mechanisms of photobiomodulation therapy as precision medicine. *Biomedicines.* 11(2):237.
10. Liu, K., Xin, H. and Settar, P. 2018. Effects of light-emitting diode light v. fluorescent light on growing performance, activity levels and well-being of non-beak-trimmed W-36 pullets. *J. Anim.* 12(1):106-115.
11. Lugongolo, M. Y., Manoto, S. L., Ombinda-Lemboumba, S., Maaza, M. and Mthunzi-Kufa, P. 2017. The effects of low level laser therapy on both HIV-1 infected and uninfected TZM-bl cells. *J. Biophotonics.* 10(10):1335-1344.
12. Martins, D. F., Turnes, B. L., Cidral-Filho, F. J., Bobinski, F., Rosas, R. F., Danielski, L.G., Petronilho, F. and Santos, A. R. S. 2016. Light-emitting diode therapy reduces persistent inflammatory pain: Role of interleucin 10 and antioxidant enzymes. *Neurosci. J.* 324:485-495.
13. Moeser, A. J., Pohl, C. S., and Rajput, M. 2017. Weaning stress and gastrointestinal barrier development: Implications for lifelong gut health in pigs. *Anim Nutr.* 3(4):313-321.
14. Moturi, J., Kim, K. Y., Hosseindoust, A., Lee, J. H., Xuan, B., Park, J., Kim, E. B., Kim, J. S. and Chae, B. J. 2021. Effects of *Lactobacillus salivarius* isolated from feces of fast-growing pigs on intestinal microbiota and morphology of suckling piglets. *Sci. Rep.* 11:1-12.
15. NRC-National Research Council. 2012. Nutrient requirements of swine, 11th ed.; National Academy Press: Washington, D.C., U.S.A, pp. 420.
16. Oh, P. S. and Jeong, H. J. 2019. Therapeutic application of light emitting diode: Photo-oncomomic approach. *J. Photochem. Photobiol. B. Biol.* 192:1-7.
17. Rahnema, M., Tuszyński J. A., Okkon I. B., Cifra M., Sardar P. and Salari V. 2011. Emission of mitochondrial biophotons and their effect on electrical activity of membrane via microtubules. *World Sci.* 10(1):65-88.
18. SAS, 1996: SAS user's guide, release 6.12 editions. Cary, NC: SAS Institute
19. Sharideh, H. and Zaghari, M. 2017. Effect of light emitting diodes with different color temperatures on immune responses and growth performance of male broiler. *Ann. Anim. Sci.* 17(2):545-553.
20. Takhtfooladi, M. A., Shahzamani, M., Takhtfooladi, H. A., Moayer, F. and Allahverdi, A. 2014. Effects of light-emitting diode (LED) therapy on skeletal muscle ischemia reperfusion in rats. *Lasers Med Sci.* 30:311-316.
21. Van Tran, V., Chae, M., Moon, J. Y. and Lee, Y. C. 2021. Light emitting diodes technology-based photobiomodulation therapy (PBMT) for dermatology and aesthetics: Recent applications, challenges, and perspectives. *Opt. Laser Technol.* 135:1-20.
22. Verri, W. J., Souto, F. O., Vieira, S. M., Almeida, S. C., Fukada, S. Y., Xu, D., Alves-Filho, J. C., Cunha, T. M., Guerrero, A. T., Mattos-Guimaraes, R. B., Oliveira, F. R., Teixeira, M. M., Silva, J. S., McInnes, I. B., Ferreira, S. H., Louzada-Junior, P., Liew, F. Y. and Cunha, F. Q. 2010. IL-33 induces neutrophil migration in rheumatoid arthritis and is a target of anti-TNF therapy. *Ann. Rheum. Dis.* 69:1697-1703.

23. Wu, J., Wang, J., Lin, Z., Liu, C., Zhang, C., Zhang, S., Zhou, M., Zhao, J., Liu, H. and Ma, X. 2023. Clostridium butyricum alleviates weaned stress of piglets by improving intestinal immune function and gut microbiota. Food Chem. 405(B):1-13.
24. Zamanizad, M., Ghalamkari, G., Toghyani, M., Adeljoo, A. H. and Toghyani, M. 2019. Effect of sequential and intermittent white, green and blue monochromatic lights on productive traits, some immune and stress responses of broiler chickens. Livest. Sci. 227:153-159.

(Received 03 September 2023, Revised 05 December 2023, Accepted 21 December 2023)