pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 40, No. 6, pp. 462~468 (2025)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2025.40.6.462

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

천연 과일 추출물의 양돈장 악취 저감 및 돼지 면역증진 효과에 관한 연구

이종훈[1] · 김연아[2] · 조현우[1] · 장범순[1] · 박건택[1,2]*
[1]인제대학교 일반대학원 생명과학과
[2]인제대학교 일반대학원 디지털항노화헬스케어학과

Effects of a Natural Fruit Extract on Odor Mitigation and Immune Enhancement in Pig Farms

Jong Hoon Lee[1], Yeona Kim[2], Hyeonwoo Cho[1], Beomsoon Jang[1], Kun Taek Park[1,2]*
[1]*Department of Biological Sciences, Inje University, Gimhae, Korea*
[2]*Department of Digital Anti-Aging and Healthcare, Inje University, Gimhae, Korea*

(Received October 5, 2025/Revised October 29, 2025/Accepted October 30, 2025)

ABSTRACT - Civil complaints regarding livestock odors have steadily increased in Korea driven by industrialization and the expansion of large-scale swine farming facilities. Livestock odors, primarily originating from swine manure, contribute to olfactory discomfort, increased pig mortality, decreased productivity, and diminished welfare among farm workers. Therefore, enhancing swine farm environments and implementing effective odor-mitigating measures are essential. This study aimed to evaluate the odor-mitigating effects and additional physiological benefits of natural fruit extracts in pigs. This study utilized fermented fruit juice extracts derived from oranges, papaya, and lime. The antibacterial activity of the extracts against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) isolated from domestic pig carcasses and retail pork was assessed using minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) tests, according to the Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) guidelines. The extracts exhibited strong antibacterial activity, as evidenced by low MIC and MBC values against 15 MRSA strains. The odor reducing effects on the major odor-causing gases, such as ammonia (NH_3), hydrogen sulfide (H_2S), and carbon dioxide (CO_2), were measured before and after spraying the natural fruit extract product on swine farms. The concentrations of NH_3 and CO_2 decreased significantly after the treatment (P<0.05), while H_2S was not detected throughout the experimental period. Stress reduction in pigs was assessed by quantifying serum cortisol concentrations using enzyme-linked immunosorbent assay. The rate of cortisol concentration reduction in the experimental group was significantly higher than that in the control group (P<0.05). Immune enhancement following stress reduction was evaluated using flow cytometry, which showed a modest increase in antigen-presenting cells and a significant rise in CD4-T cells (P<0.05). Collectively, the results indicate that natural fruit extracts effectively reduce odor and stress while enhancing immune responses in pigs. These improvements may help reduce mortality, enhance productivity, and promote animal welfare in swine farming operations.

Key words: Swine farms, Natural fruit extracts, Odor reduction, Cortisol, Porcine immunity

국민의 소득증대와 식생활 수준 향상에 따라 육류 소비가 증가하면서 국내 양돈 사육 규모도 증가하였다[1]. 사육 규모가 확대됨에 따라 가축 분뇨 발생량이 증가하고, 이에 따라 축산 악취 문제가 심화되고 있다. 양돈장에서 발생하는 악취 성분들은 대부분 가축의 분뇨 및 폐수 처리 시설에서 발생된다. 이는 단순히 후각적인 불쾌감을 줄 뿐만 아니라, 자돈의 폐사율을 증가시키고 생육을 저하시키는 등 축산업 분야의 생산성을 저하시키고 종사자의 건강에도 유해한 영향을 미친다[2-4]. 이에 따라 국내 축산악취 민원은 2005년 악취방지법 제정 이후에도 지속적으로 증가하고 있다[2,5-7].

*Correspondence to: Kun Taek Park, Department of Biological Sciences, Inje University, Gimhae 50834, Korea
Tel: +82-055-320-3213, Fax: +82-055-336-7706
E-mail: ktpark@inje.ac.kr

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

양돈장에서 발생하는 악취는 약 170 여종에 달하는 복합물질(암모니아, 휘발성 지방산, 페놀류, 인돌류, 황화합물, 휘발성아민류 등)로 구성되어 제거가 어렵다[5,8]. 그중 암모니아(NH_3) 가스는 주로 분뇨가 분해되면서 발생하는 주요 악취 물질로 낮은 농도에서도 사람의 후각으로 감지 가능하며, 가축의 성장 저해 및 호흡기 질병을 유발하여 축산농가에 큰 피해를 준다[3,5,9]. 황화수소(H_2S) 가스는 주로 분뇨의 표면에 높은 농도로 나타나는 경향이 있으며 낮은 수준의 농도에서도 악취가 발생하여 구역질, 두통, 어지럼증 등을 유발한다[5,9]. 이러한 H_2S와 NH_3 가스는 양돈장 악취 화합물의 주요 구성요소로 식별된다[9,10]. 그리고 돈사 내 이산화탄소(CO_2) 가스는 주로 분뇨의 발효과정과 돼지의 호흡으로 발생한다[2,9].

악취 관리는 양돈 산업의 생산성 및 수익성과 밀접하게 연관되며, 악취 배출 저감 여부가 앞으로 국내 양돈산업의 지속가능성에 영향을 미칠 것이다[11]. 따라서 양돈 산업의 지속발전을 위해서는 효과적인 악취 제어 기술이 개발이 필수적이며[4,11], 현재 다양한 방법들이 제시되고 효과를 검증하고 있다. 이러한 예에는, 축사 내 바이오필터 설치, 축사시설 개선, 악취 저감 효과를 가진 탈취 성분 제제들의 개발들이 있다[5,7,12]. 그러나 이러한 물리·화학적 악취 저감 방법은 설치 비용이 높거나 장기적인 효과가 제한적이라는 한계가 있다.

본 연구에서는 악취저감 방법 모색의 하나로, 저비용·친환경 악취저감 물질의 양돈장 적용 가능성을 평가하고자 한다. 이에 따라 과실에서 추출된 천연추출물 복합제의 이용한 양돈장 적용 시, 돈사의 악취 저감 효과, 돼지 폐사율 및 면역기능 변화를 비교하여 사육환경 개선 및 악취 민원 완화 가능성을 종합적으로 분석하고자 한다.

Materials and Methods

실험 물질

본 연구에서는 바이오매직®(G&B Solution Inc., Cheonan, Korea)을 사용하였다. 이 제품은 오렌지, 파파야, 라임 등의 과실을 마쇄한 뒤 펙티나아제와 셀룰라아제를 첨가하여 반응시키고, 이를 착즙한 추출물을 상온에서 발효시켜 제조한 과즙 발효액으로서, protease, lipase, amylase 등을 포함한 복합 효소제이다.

바이오매직®의 항균 능력 시험

바이오매직®의 항균 능력을 시험하기 위해 농림축산검역본부로부터 국내 돼지 도축장 및 유통마트에서 분리된 methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) 균주 15 주를 분양받아 사용하였다. 균주는 sheep blood agar (Asan Pharm Co., Whasung, Korea)에 획선 도말한 후 37°C에 18-24시간 배양 후 실험에 사용하였다. 항균 능력 평가는 Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI)의 guideline에 명시된 최소억제농도(minimum inhibitory concentration, MIC) 측정방법을 참고하여 진행하였다[13]. 바이오매직®은 10.24%에서 0.01%까지 2배 단계로 cation-adjusted Mueller-Hinton broth (Becton, Dickinson and Company, Franklin Lakes, NJ, USA)에 연속 희석하여 96-well plate에 100 μL씩 분주하였다. 이어 멸균 처리된 0.85% NaCl (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 2 mL에 각 균주를 현탁하여 최종 5×10^5 CFU/mL 농도가 되도록 각 well에 접종한 후, 37°C에서 24시간 배양하여 MIC를 측정하였다. 최소살균농도(minimum bactericidal concentration, MBC)는 MIC 측정 후 각 well의 균액을 sheep blood agar에 도말하여 37°C에서 24시간 배양 후 확인하였다. 모든 실험은 동일한 조건으로 두 차례 반복 수행하였다.

악취 저감 효과 확인 실험

바이오매직®의 악취 저감 효과 확인 실험은 2016년 2월부터 4월까지 두 달간 아산에 위치한 돼지 위탁사육 비육농장에서 처리 전후의 악취 정도를 비교하여 평가하였다. 농장의 사육형태는 육성·비육사였으며, 사육 두수는 950두, 분뇨 저장 형식은 부분 슬러리였다. 바이오매직®을 물에 유효성이 있는 1:50 비율로 희석하여 돈사 내에 살포 방식으로 적용하였으며, 분뇨 1톤 발생당 바이오매직 1-1.5 톤 정도의 양을 사용하였다. 악취 측정은 처리 전 1주, 처리 후 3주 및 7주, 총 3회에 걸쳐 약 2 개월 간 실험을 수행하였다. 측정 방법은 복합 가스 측정기(MultiRAE lite, PGM-6208, RAE System, New York, NY, USA)를 사용하여 NH_3 가스와 H_2S 가스 및 돼지 돈사 내 환경 척도를 알 수 있는 CO_2 가스를 측정하였다[14]. 가스 측정의 경우 출입구 측 벽 2 m 지점에서 반대 편 벽으로부터 2 m 떨어진 지점까지를 5등분하여 총 5개 지점에서 수행하였으며, 그 평균값을 산출하여 비교하였다.

폐사율 비교

위 악취저감 효과를 확인하는 실험이 진행된 농장에서 바이오매직® 처리 전 두 달과 처리 후 두 달 동안의 돼지의 폐사율을 비교하였다.

Cortisol 농도 및 면역세포 아집단 분석을 통한 사육환경 개선 효과 비교

사육환경 개선 효과를 평가하기 위해, 돼지의 생리적 스트레스 반응과 면역세포 구성 변화를 분석하였다. 먼저, 악취 저감에 따른 스트레스 완화 효과를 확인하기 위하여 동물의 대표적 스트레스 지표인 혈중 cortisol 농도를 측정하였다. 실험은 경상남도 김해시에 위치한 사육 규모와 방식이 유사한 두 농장을 실험군과 대조군으로 설정하여 수행하였다. 실험군 농장의 사육두수는 1,475두, 대조군은

1,800두였으며, 두 농장 모두 일괄 사육 방식을 적용하고 분뇨 저장은 슬러리 방식을 사용하였다. 실험은 2015년 8월, 각 농장에서 약 2개월령의 돼지 6두를 대상으로 바이오매직® 처리 전후의 혈액을 채취하여 분석에 활용하였다. 모든 개체에는 개체 식별용 이표를 부착하여 동일 개체 추적이 가능하도록 하였다.

혈청 내 cortisol 농도는 sandwich enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) 기법으로 측정하였다. 분석에는 156-10,000 pg/mL 범위의 측정이 가능한 cortisol ELISA kit (Enzo Life Sciences Inc., New York, NY, USA)를 사용하였으며, 제조사 매뉴얼에 따라 실험을 수행하였다[15]. 채혈 후 혈청은 냉동 보관하였고, 분석 시 해동하여 동일한 날에 동일한 kit로 측정하였다. 또한 kit의 검량 범위에 맞추기 위해 혈청을 assay buffer로 10배 희석하여 사용하였다.

바이오매직® 처리에 따른 면역학적 변화를 함께 평가하기 위해, 동일 개체에서 채취한 혈액을 이용하여 유세포 분석(flow cytometry)을 수행하였다. 이는 사육환경 개선이 돼지의 면역 체계 활성에 미치는 영향을 확인하기 위한 것으로, 혈액 내 면역세포 아집단의 구성을 중심으로 분석하였다. 면역세포 아집단 분석은 선천성 및 후천성 면역에 중요한 세포군을 중심으로 수행하였다. 채취된 혈액으로부터 peripheral blood mononuclear cell (PBMC)을 분리한 후, 백혈구 아집단 세포 표면 분자(cell surface molecules)에 특이적인 단클론 항체를(Table 1)를 이용하여 유세포 분석 (flow cytometry)을 수행하였다[16-19]. 간략히 설명하면, conical-bottom microplate의 한 well에는 단클론 항체 50 μL (15 μg/mL)와 혈액에서 분리한 백혈구 현탁액 (1×10^7 cells/mL) 100 μL를 첨가하여 4°C에서 30분 반응시켰다. 반응 후 washing buffer (PBS 450 mL, ACD 50 mL, 20% NaN3 5 mL, gamma globulin free horse serum 10 mL, 250 mM EDTA 20 mL)에 부유한 뒤, 1700 rpm으로 3분간 4°C 조건에서 원심분리하여 3회 반복하여 세척하였다. 이 후 백혈구 pellet을 vortex하여 부유시킨 뒤, FITC – conjugated goat-mouse IgG+IgM antibody (Caltag Laboratories, Burlingame, CA, USA)를 200배 희석한 후 부유 된 백혈구가 들어있는 각 well에 100 μL씩 첨가한 후, 4°C에서 30분간 반응시켰다. 반응 후 horse serum을 제외하고 만든 washing buffer로 위와 같은 조건에서 3회 세척 하였다. 세척이 끝난 시료는 2% formalin을 포함한 PBS 용액으로 고정하여 4°C 냉암소에 보관하였다. 염색을 완료한 시료는 flow cytometry와 FCS Express software (FCS express, *De Novo* Software, Los Angeles, CA, USA)를 이용하여 백혈구 아집단별 분포율을 분석을하였다.

Table 1. Antibodies used in this study

Antibody		Function
TH21A	MHC class II	Antigen presentation (macrophage, B cells, dendritic cells)
PT90A	CD4	T helper cell
PT36A	CD8	Cytotoxic T cell
PIG45A2	B cell	Antibody production

All monoclonal antibodies were obtained from the Washington State University Monoclonal Antibody Center.

통계분석

통계적 유의성은 SPSS software (version 22.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하여 분석하였다. 그룹 간 차이는 one-way ANOVA test로 검증하였으며, 대조군과 비교하여 $P<0.05$를 통계적으로 유의한 것으로 판단하였다.

Results and Discussion

항균능 시험

최근 국내 양돈 농가에서 MRSA는 다양한 항생제에 내성을 나타내어 많은 문제를 야기하고 있다. 또한 food production chain을 통한 인수공통감염(zoonotic transmission)의 가능성으로 인해 공중 보건학적으로도 중요한 위협으로 인식되고있다[20,21]. 이에 본 연구에서는 국내 양돈장에서 분리된 MRSA 균주를 대상으로 천연 추출물 복합체인 바이오매직®의 항균 효과를 평가하기 위해 MIC 및 MBC를 측정하였다. 전체 15주의 MRSA 중 1주는 MIC와 MBC가 1.28%로 확인되었으며, 나머지 14주는 2.56%로 확인되었다(Table 2). 이러한 결과는 국내 주요 MRSA sequence type (ST)인 ST398, ST541, ST72뿐만 아니라 ST5와 ST188에서도 일관되게 확인되었다. 이를 통해 바이오매직®이 돼지뿐만 아니라 사람에게도 문제가 되는 MRSA에 대해 강력한 항균효능을 가지고 있어, 악취저감 효과와 더불어 양돈 산업에 중요한 항생제 내성균으로 인식되는 MRSA에 대한 제어 효과가 있을 것으로 기대된다.

악취저감 효과

본 연구에서는 바이오매직® 처리 1주 전, 처리 후 3주 및 7주 시점에 NH_3, H_2S, CO_2 가스를 측정하여 2개월간의 악취저감 효과를 평가하였다. NH_3의 경우 처리 3주 후 농도가 처리 전 보다 통계적으로 유의하게 감소하였으며 ($P<0.05$), 처리 7주 후에도 3주 시점 대비 추가적인 감소가 관찰되었다($P<0.05$) (Fig. 1). CO_2 역시 NH_3와 유사한 양상으로 유의한 감소를 나타냈다($P<0.05$)(Fig. 2). 이러한 결과는 바이오매직®이 단기 악취감소 효과 뿐만 아니라, 장기적으로도 악취를 감소 시킬 수 있음을 시사한다.

반면 H_2S는 해당 실험농장에서 처리 전후 전 기간에 검출되지 않아 효과를 평가할 수 없었다. 그러나 NH_3와 CO_2에서 나타난 일관된 감소 경향을 고려할 때, H_2S가 발생하는 농장에서도 유사한 저감 효과가 기대된다. 따라서 본

Table 2. Antibacterial activity of Bio-Magic® against methicillin resistant *S. aureus*

Isolate No.	Source	ST[1)]	SCC*mec*[2)]	*spa*[3)]	MIC[4)](%)	MBC[5)](%)
1	Carcass	ST541	V	t034	2.56	2.56
2	Carcass	ST72	IV	t2461	2.56	2.56
3	Carcass	ST72	IV	t2461	2.56	2.56
4	Carcass	ST541	V	t1928	2.56	2.56
5	Carcass	ST72	IV	t324	2.56	2.56
6	Carcass	ST541	V	t034	2.56	2.56
7	Pork	ST5	II	t002	2.56	2.56
8	Pork	ST5	II	t002	1.28	1.28
9	Pork	ST5	II	t002	2.56	2.56
10	Carcass	ST398	V	t7160	2.56	2.56
11	Carcass	ST398	V	t011	2.56	2.56
12	Carcass	ST398	V	t011	2.56	2.56
13	Carcass	ST188	IV	t189	2.56	2.56
14	Carcass	ST188	IV	t189	2.56	2.56
15	Carcass	ST188	IV	t189	2.56	2.56

[1)]Sequence type.
[2)]Staphylococcal cassette chromosome *mec.*
[3)]*Staphylococcus* protein A.
[4)]Minimum inhibitory concentration.
[5)]Minimum bactericidal concentration.

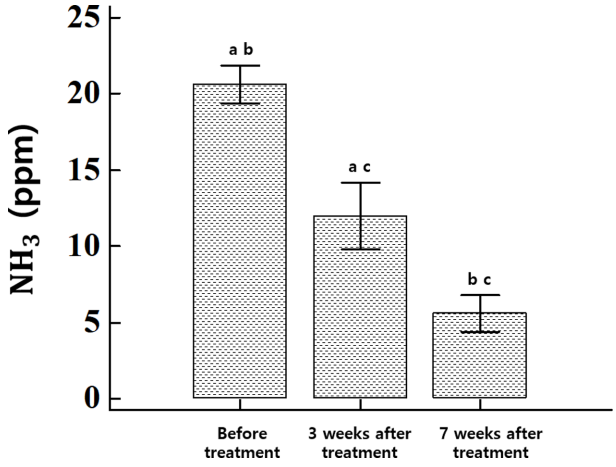

Fig. 1. Changes in ammonia (NH_3) concentrations before and after Bio-Magic® treatment. Vertical bars represent standard deviations. Different letters above the bars (a-c) indicate statistically significant differences among groups (P<0.05).

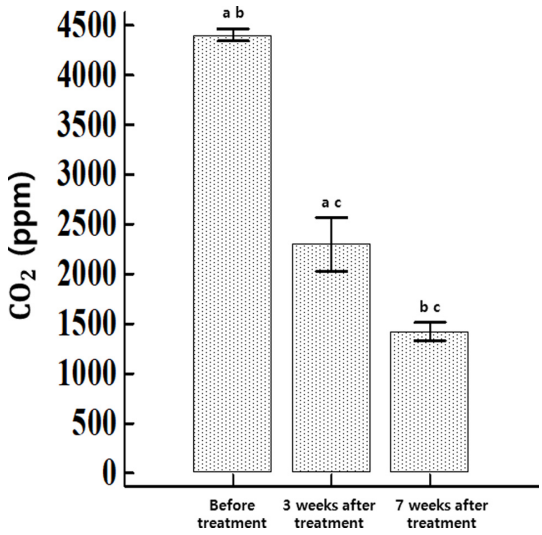

Fig. 2. Changes in carbon dioxide (CO_2) concentrations before and after treatment of Bio-Magic®. Vertical bars represent standard deviations. Different letters above the bars (a-c) indicate statistically significant differences among groups (P<0.05).

실험에서 사용된 바이오매직®의 양돈장 적용은 심각한 사회적 문제로 대두되는 악취 민원 완화에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

폐사율 비교

바이오매직® 처리 전후의 폐사율 변화를 평가하기 위해, 악취 저감 효과 확인 실험이 진행된 농장에서 처리 전 2개월과 처리 후 2개월 동안의 폐사율을 비교하였다. 동일 돈군에서 처리 전에는 7 두가 폐사한 반면, 처리 후에는 2두만 폐사하였다. 이는 바이오매직® 처리 후 폐사율이 약 70% 감소한 것으로, 양돈 농가의 생산성 향상에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대된다.

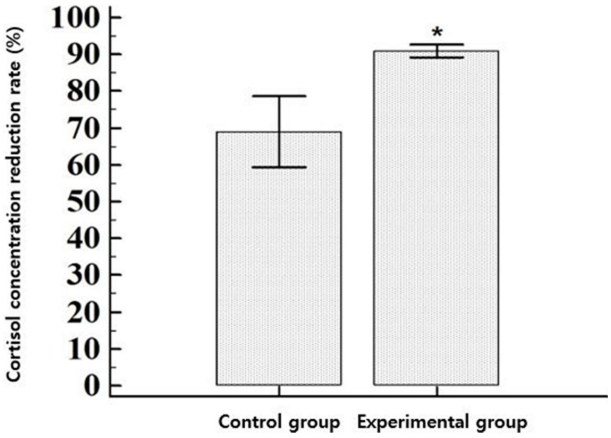

Fig. 3. Reduction rate of serum cortisol concentrations in control and experimental groups. Cortisol levels were measured in pigs before and 2 months after Bio-Magic® treatment on the farms. Vertical bars represents standard deviation. **P*<0.05 indicates a statistically significant difference between groups.

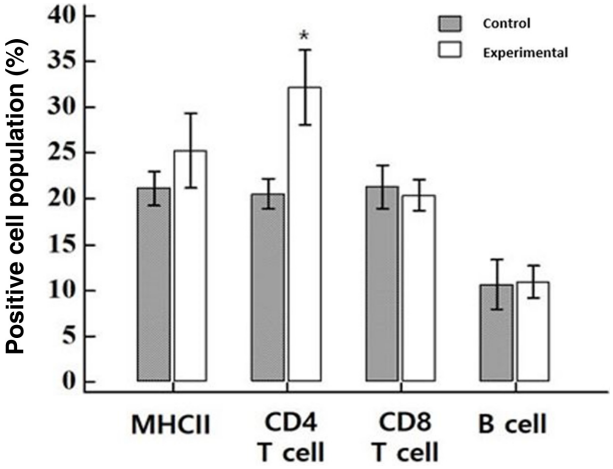

Fig. 4. Flow cytometric analysis of peripheral blood mononuclear cells (PBMCs) isolated from pigs in control and experimental farms. PBMCs were collected from pigs 2 months after Bio-Magic® treatment on the farms. Vertical bars represent standard deviations. **P*<0.05 indicates a statistically significant difference between groups.

혈 중 cortisol 농도 비교

돼지의 스트레스는 면역력 저하, 성장 지연, 개체 도태를 유발하며, 장기간 지속될 경우 폐사의 원인이 될 수도 있다[22]. Cortisol은 스트레스와 밀접히 연관된 호르몬으로, 스트레스가 증가하면 분비가 증가하여 가축의 스트레스 평가 지표로 활용된다. 악취가 심하거나 공기 중 가스 농도가 상승하면 돼지의 스트레스가 증가하고, 이는 근육 운동, 인지, 감정 조절 및 호르몬 분비에 부정적 영향을 미치며, 특히 면역력을 저하시켜 다양한 질병에 대한 감수성을 증가시킨다[22,23]. 따라서 본 연구에서는 cortisol 농도 측정을 통해 바이오매직®이 양돈장의 사육 환경 개선에 미치는 영향을 평가하였다.

최초 샘플 채취 후 바이오매직®을 처리하고 약 2개월 뒤 동일 개체에서 채혈했을 때, 두 농장 모두 혈 중 cortisol 농도 감소가 관찰되었다. 이러한 감소는 특히 처리군에서 더 급격히 일어났으며, 감소율이 대조군과 비교했을 때 통계적으로 유의하였다(Fig. 3).

이상의 결과는 바이오매직® 처리가 돈군의 스트레스를 효과적으로 감소시킴을 보여준다. 이는 곧 돈사 내 악취 저감을 통한 쾌적한 사육 환경 제공과 연결되며, 스트레스 감소는 면역력 저하 방지 및 질병 저항성 향상으로 이어져 폐사율 감소에도 기여했을 것으로 판단된다.

유세포 분석

실험 시작 약 2개월 후, 바이오매직® 처리군과 대조군에서 각각 6마리의 혈액을 채취하여 PBMC를 분리한 뒤 flow cytometry로 분석하였다. 그 결과, 처리군에서 MHC class II를 발현하는 antigen presenting cell이 다소 증가하였으며, 특히 CD4 T-cell 비율이 대조군에 비해 유의하게 높게 나타났다(*P*<0.05). 반면, CD8 T-cell과 B-cell의 비율은 크게 차이가 나지 않았다(Fig. 4).

이러한 결과는 바이오매직® 처리가 면역세포 구성에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 특히, 항원을 처리하여 T-cell에 제시하는 antigen-presenting cell의 증가와, 세포매개성 면역(cell-mediated immunity)과 체액성 면역(humoral immunity)의 활성에 핵심적인 역할을 하는 CD4 T-cell의 증가는 면역학적으로 중요한 의미를 가진다[18]. 이와 같은 세포 아집단의 증가는 선천적 면역(innate immunity)과 후천적 면역(adaptive immunity)의 활성화를 통해, 바이오매직® 처리 시 면역력 향상의 가능성을 보여 준다.

가축 사료에 생균제를 첨가하여 면역력을 높이는 기존 연구[24]와 비교했을 때, 본 연구에서 관찰된 바이오매직®의 효과 역시 양돈장에서 의미 있는 대안으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 본 실험은 혈류 내 면역세포 비율만을 측정하였으므로, 실제 숙주의 면역력 향상 효과를 직접적으로 확인하기 위해서는 추가 연구가 필요하다. 또한 이번 결과는 환경 개선 및 스트레스 감소에 따른 간접적 효과일 가능성도 배제할 수 없다.

결론적으로, 본 연구를 통하여 바이오매직®의 양돈장 적용은 악취를 감소시켜 양돈 농장주와 종사자들에게 쾌적한 근무 환경을 제공하고, 만성 악취 민원 완화에도 기여할 수 있을 것으로 생각된다. 더불어 바이오매직®이 가지고 있는 항균능력, 스트레스 감소와 면역력 증강 효과는, 감염병 발생을 저하, 폐사율 감소 등을 통해 양돈 산업 생산성 향상과 돈육 품질 개선에도 긍정적 영향을 줄 것으로 기대된다.

국문 요약

국내 양돈 산업의 대형화와 산업화에 따라 축산 악취에 대한 민원 발생이 지속적으로 증가하고 있다. 돼지 분뇨에서 주로 발생하는 악취는 후각적 불쾌감을 유발할 뿐 아니라, 돼지의 폐사율 증가, 생산성 저하, 농장 근로자의 작업 환경 악화 등 다양한 부정적 영향을 미친다. 따라서 전국적인 양돈장 환경 개선과 효과적인 악취 저감 대책의 마련이 필요하다. 본 연구에서는 천연 추출물 복합체인 바이오매직®의 양돈장 악취 저감 효과와 그에 따른 부수적인 생리학적 개선 효과를 평가하였다. 본 실험에 사용된 바이오매직®은 오렌지, 파파야, 라임을 발효하여 제조한 것으로, 우선 돼지 농장에서 분리된 메티실린 내성 황색포도상구균(MRSA)을 대상으로 항균 활성을 평가하였다. CLSI 기준에 따른 최소억제농도(MIC) 및 최소살균농도(MBC) 시험 결과, 바이오매직®은 15개 MRSA 균주에 대해 낮은 MIC와 MBC 값을 나타내어 우수한 항균 활성을 보였다. 양돈장 내 주요 악취 유발 물질인 암모니아(NH_3), 황화수소(H_2S), 이산화탄소(CO_2)에 대한 저감 효과를 조사한 결과, 바이오매직®을 살포한 후 NH_3와 CO_2 농도가 유의적으로 감소하였으나(P<0.05), H_2S는 연구 전기간에 걸쳐 측정되지 않았다. 또한, 돼지의 스트레스 수준은 혈중 코르티솔 농도를 효소면역측정법(ELISA)으로 측정하여 평가하였다. 그 결과, 실험군의 코르티솔 농도 감소율이 대조군에 비해 유의적으로 높게 나타났다(P<0.05). 스트레스 감소에 따른 면역력 향상 여부를 평가하기 위해 유세포 분석(flow cytometry)을 실시한 결과, 항원제시세포의 비율이 다소 증가하였고, CD4-T cell 비율이 유의적으로 증가하였다(P<0.05). 이상의 결과를 종합하면, 본 실험에서 사용한 바이오매직®은 양돈장에서 악취 저감뿐만 아니라 돼지의 스트레스 완화 및 면역 기능 향상에도 긍정적인 효과를 나타내었다. 이러한 개선 효과는 폐사율 감소 및 생산성 향상, 나아가 동물 복지 증진에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 2021년 농림축산검역본부 연구용역개발사업(과제번호: Z-1543081-2021-23-03)의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Jonghoon Lee https://orcid.org/0009-0006-5851-5383
Yeona Kim https://orcid.org/0000-0002-3231-6232
Hyeonwoo Cho https://orcid.org/0000-0002-5007-5612
Beomsoon Jang https://orcid.org/0000-0003-1657-3105
Kun Taek Park https://orcid.org/0000-0001-6177-0373

References

1. Lee, J.H., Phae, C.G., Investigation of the current status on generation route and recycling of residue derived animals. *J. Korea Org. Resour. Recycl. Assoc.*, **17**, 81-92 (2009).
2. Olson, D.K., Bark, S.M., Health hazards affecting the animal confinement farm worker. *AAOHN J.*, **44**, 198-204 (1996).
3. Ryu, H.W., Cho, K.S., Lee, T.H., Huh, M., Management of offensive odors in swine production facilities:I. Domestic status and offensive odors in swine production. *Korean J. Odor Res. Eng.*, **2**, 69-77 (2003).
4. Jung, K.H., Han, J.C., Kwack, S.J., Jung, J.D., Lee, J.W., Kim, D.H., Effects of enzyme complex on odor emission from swine slurry and swine buildings. *J. Anim. Environ. Sci.,* **14**, 15-22 (2008).
5. Lee, E.Y., Lim, J.S., Current status and perspectives of livestock environment improving agents for the characteristics and control of swine manure odor. *Microbiol. Biotechnol. Lett.*, **38**, 244-254 (2010).
6. Jang, Y.K., Song, K.P., Kim, H.J., Yoo, Y.H., An investigation on the odor characteristics of livestock facilities. *J. Environ. Impact Assess.*, **13**, 33-40 (2004).
7. Kim, J.H., Yoo, K.S., Oh, J.B., Jung, J.Y., Study on the characteristics of odor emitted from swine facilities. *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **34**, 439-444 (2012).
8. Kim, S.S., Shim, S.M., Lee, T.H., Jeon, T.B., Won S.G., Song, J.I., Jung, B.D., Lee, J.J., Ra, C.S., Optimal parameters of bio-liquor circulation type swine manure management system. *Ann. Anim. Resour. Sci.*, **30**, 133-144 (2019).
9. You, W.G., Kim, C.L., Lee, M.G., Kim, D.K., Analysis of changing pattern of noxious gas levels with malodorous substance concentrations in individual stage of pig pens for 24 hrs to improve piggery environment. *J. Anim. Environ. Sci.*, **18**, 25-34 (2012).
10. Jo, S.H., Kim, K.H., Jeon, B.H., Lee, M.H., Kim, Y.H., Kim, B.W., Cho, S.B., Hwang. O.H., Bhattacharya, S.S., Odor characterization from barns and slurry treatment facilities at a commercial swine facility in South Korea. *Atomospheric Environ.*, **119**, 339-347 (2015).
11. Zhu, J., A review of microbiology in swine manure odor control. *Agric. Ecosyst. Environ.,* **78**, 93-106 (2000).
12. Sun, Y., Clanton, C., Janni, K.A., Malzer, G.L., Sulfur and nitrogen balances in biofilters for odorous gas emission control. *Trans ASABE*, **43**, 1861-1875 (2000).
13. Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), 2015. Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically, M07-A10, Wayne, PA, USA, pp. 27-32.
14. Yang, K.Y., Ha, J.J., Kwon, K.S., Kim, J.B., Jang, D.H., Lee,

J.Y., Kim, J.K., Effect of floor types (slat vs. litter) of group housing systems on sow behavior and environmental levels. *J. Korea. Acad. Ind. Coop. Soc.*, **21**, 388-394 (2020).
15. Trus, I., Darbellay, J., Huang, Y., Gilmour, M., Safronetz, D., Gerdts, V., Karniychuk, U., Persistent Zika virus infection in porcine conceptuses is associated with elevated in utero cortisol levels. *Virulence,* **9**, 1338-1343 (2018).
16. Yang, C.K., Kim, S.J., Moon, J.S., Jung, S.C., Park, Y.H., Enhancement of cell-mediated immunity by administration of plasma protein in pigs 1. Proportion of leukocyte subpopulations and cells expressing adhesion molecules in peripheral blood. *Korean J. Vet. Res.,* **34**, 275-286 (1994).
17. Deloizy, C., Bouguyon, E., Fossum, E., Sebo, P., Osicka, R., Bole, A., Pierres, M., Biacchesi, S., Dalod, M., Bogen, B., Bertho, N., Schwartz-Cornil, I., Expanding the tools for identifying mononuclear phagocyte subsets in swine: Reagents to porcine CD11c and XCR1. *Dev. Comp. Immunol.*, **65**, 31-40 (2016).
18. Matsubara, T., Nishii, N., Takashima, S., Takasu, M., Imaeda, N., Aiki-Oshimo, K., Yamazoe, K., Kametani, Y., Ando, A., Kitagawa, H., Identification of a CD4 variant in Microminipigs not detectable with available anti-CD4 monoclonal antibodies. *Vet. Immunol. Immunopathol.,* **168**, 176-183 (2015).
19. Soldevila, F., Edwards, J.C., Graham, S.P., Stevens, L.M., Crudgington, B., Crooke, H.R., Werling, D., Steinbach, F., Characterization of the myeloid cell populations' resident in the porcine palatine tonsil. *Front. Immunol.*, **9**, 1800 (2018).
20. Back, S.H., Eom, H.S., Lee, H.H., Lee, G.Y., Park, K.T., Yang, S.J.. Livestock-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in Korea: antimicrobial resistance and molecular characteristics of LA-MRSA strains isolated from pigs, pig farmers, and farm environment. *J. Vet. Sci.*, **21**, e2 (2020).
21. Moon, D.C., Jeong, S.K., Hyun, B.H., Lim, S.K., Prevalence and characteristics of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* isolates in pigs and pig farmers in Korea. *Foodborne Pathog. Dis. J.*, **16**, 256-261 (2018).
22. Martínez-Miró, S., Tecles, F., Ramón, M., Escribano, D., Hernández, F., Madrid, J., Orengo, J., Martínez-Subiela, S., Manteca, X., Cerón, J.J., Causes, consequences and biomarkers of stress in swine: an update. *BMC Vet. Res.,* **12**, 171 (2016).
23. Wallgren, P., Wilén, I. L., Fossum, C., Influence of experimentally induced endogenous production of cortisol on the immune capacity in swine. *Vet. Immunol. Immunop.*, **42**, 301-316 (1994).
24. Kil, D.Y., Lim, J.S., Tian, J.Z., Kim, B.G., Kim, K.S., Kim, Y.Y., Effect of continuous feeding of probiotics on growth performance, nutrient digestibility, blood urea nitrogen and immune responses in pigs. *J. Anim. Sci. Technol.,* **46**, 39-48 (2004).