

Research Article

미생물 첨가제가 거세한우 분의 이화학적 특성, 미생물 성장, 가스 발생량 및 퇴비 부숙도에 미치는 영향

주영호¹, 서명지², 정승민², 김지윤², 김삼철^{1,2,*}

¹경상국립대학교 농업생명과학연구원

²경상국립대학교 응용생명과학부(BK21 Four)

Effects of Microbial Additives on the Chemical Characteristics, Microbes, Gas Emissions, and Compost Maturity of Hanwoo Steer Manure

Young Ho Joo¹, Myeong Ji Seo², Seung Min Jeong², Ji Yoon Kim² and Sam Churl Kim^{1,2,*}

¹Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

²Division of Applied Life Science (BK21Four), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

ABSTRACT

The present study investigated effects of microbial additives on the floor of Hanwoo steer manure in barn. The treatment following: without additives (CON); additives (AMA). Each treatment used 3 barns as replication and each barn contained 5 Hanwoos. The Hanwoo steer manure in barns was sub-sampled from 5 sides of pen at 0, 4 and 12 weeks. The sub-samples were used for analyses of chemical compositions, microbial counts, gas emissions and compost maturity. The concentrations of moisture, organic matter, total nitrogen and carbon-to-nitrogen (C/N ratio) of Hanwoo steer manure before the microbial additives were each 59.1%, 83.2%, 1.78% and 50.0%, respectively. The counts of lactic acid bacteria, Yeast, *Bacillus subtilis*, and *Escherichia coli* (*E. coli*) were each 5.94, 6.83, 7.28 and 5.52 cfu/g, but *Salmonella* was not detected. The ammonia-N gas was 4.67 ppm, but hydrogen sulfide gas was not detected. After 4 weeks, moisture, organic matter, total nitrogen, pH and yeast count were lowest ($p<0.05$). The lactic acid bacteria, yeast, *Escherichia coli* (*E. coli*) and ammonia-N gas were not effects of microbial additives. All treatments was not detected at *Salmonella* count and hydrogen sulfide emission, and compost maturity was completed. After 12 weeks, the lactic acid bacteria and *Bacillus subtilis* were highest in AMA, while moisture, yeast and *E. coli* were lowest ($p<0.05$). The ammonia-N gas was not effect by microbial additive. *Salmonella* and hydrogen sulfide emission were not detected in all treatments, and compost maturity was completed. Therefore, in present study, the microbial additive did not affect of gas and compost maturity, but the pathogenic microorganism such as *E. coli*, were inhibited by microbial additives.

(Key words: Chemical characteristics, Compost maturity, Farm odor, Hanwoo steer manure, Microbial additives)

I. 서론

최근 국내의 축산업에서 환경문제가 매우 중요한 문제점으로 야기되고 있는데, 축산업의 대형화, 기업화가 이루어져 가축의 사육두수는 꾸준히 증가하여 2021년 약 355만두가 사육되고 있다(Statistics Korea, 2022). 사육두수의 증가는 축산분뇨의 증가로 이어지기 때문에 환경과 냄새에 대해서 개선이 필요하다. 축산 환경에서 가축 분뇨로 인해 발생하는 병원성 미생물에는 대장균과 살모넬라 등이 있으며, 병원성 미생물인 대장균과 살모넬라는 송아지 폐사율이 높은 원인 중 하나이며, 송아지 성장 또한 억제시

킨다(Song and Chai, 1998; Kang et al., 2001). 이러한 병원성 미생물들은 이에 그치지 않고 황화수소와 암모니아 생성을 촉진시켜 축사 내 악취의 원인이 된다(Jajere, 2019).

악취는 축산업에서의 주요 민원 중 하나이며, 가축이 악취에 장기간 노출되게 되면 스트레스, 식욕 저하, 음수량 감소 등의 문제를 발생시킨다(Yasuhara et al., 1984). 축산업에서 악취 저감을 위해 사용하는 방안 중 하나인 미생물을 이용하여 악취를 제어하는 방법은 생균제 섭취로 가축 장기 내의 유익균의 인위적인 우점화를 만드는 방식이며, 분뇨 처리 시 환경오염을 줄이기 위해 이용되고 있다(Kim et al., 1999). 또한 생균제 섭취 및 미생물의

*Corresponding author: Sam Churl Kim,

Tel: +82-55-772-1947, Fax: +82-55-772-1949, E-mail: kimsc@gnu.ac.kr

첨가는 장내 미생물 균형을 개선함으로써 숙주 동물에게 유익한 작용을 유도하며(Petersen, 1985), 병원성 미생물의 성장을 억제하고 악취물질인 암모니아 및 황화합물 등을 감소시켜 냄새를 저감하는 효과가 있다(Terada, 1994; Kim et al., 2006).

한편, 지속 가능한 축산업으로 발전하기 위한 방안 중 하나로 2021년 3월부터 퇴비 부숙도 검사가 의무화되었는데, 퇴비에 미생물을 첨가하는 방법은 효과적인 퇴비 부숙을 위한 방법 중 하나로, 가축 분뇨에 미생물 첨가 시 토양만을 사용하였을 때보다 퇴비 부숙이 촉진되며 품질이 향상된다(Shin, 2002). 또한 이러한 퇴비 부숙을 통하여 악취와 품질을 개선시켜 양질의 유기질 비료로 이용할 수 있다. 현재 악취 저감 및 환경 개선을 위하여 연구가 많은 축산업에서 진행되고 있는데, 한우사 분에 관한 연구는 미미한 실정이다. 따라서 본 연구는 미생물 첨가에 따라 거세한우 분에 미치는 영향을 조사하기 위하여 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 공시 동물과 시험구

본 시험은 경상국립대학교에서 실시하는 동물실험윤리기준에 준하여 시험을 실시하였다(GNU-210705-A0062). 한우 비육우 30두를 공시하여 체중을 고려하여 시험구당 15두씩 배치하였다(650±50 kg). 본 실험에 사용한 우분은 2021년 7월 경남 사천시 소재 한우 농장에서 채취하였다. 실험에 이용된 복합 미생물(*Lactobacillus sakei*, 2.8×10^8 + *Bacillus subtilis*, 4.6×10^8 + *Sacchomyces cerevisiae*, 3.2×10^8)은 (재)사천친환경발효미생물재단으로부터 공급받았다. 시험구는 우사 바닥에 일반톱밥을 5 cm 높이로 깔고, 미생물을 첨가하지 않은 시험구(CON)와 미생물을 처리한 시험구(AMA)로 설정하였다. 미생물 처리구는 음수 미생물을 급여하고(500배 희석), 안개분무(100배 희석)를 통해 1 일 10분간 10 L 바닥에 살포하였으며, 우사 바닥에 우드칩을 5 cm 높이로 깔아주었다. 시험기간은 총 12주간 실시하였으며, 분석을 위하여 시험 0주, 4주 및 12주에 우방 5곳에서 우분을 5 kg 채취하여 분석에 이용하였다.

2. 우분의 이화학적 특성

우분의 이화학적 특성을 분석하기 위해 채취된 시료는 65°C 송풍건조기에서 48시간 건조시켜 Wiley mill 분쇄기를 이용하여 분쇄하고, 1 mm screen을 통과한 시료를 분석용으로 이용하였다. 우분의 수분 함량은 105°C 건조기(OF-22GW, JEIO TECH, Korea)에서 24시간 동안 건조 후 무게를 측정하여 분석하였다. 총질소 함량은 AOAC (2005)에 준하여 분석하였다. 총질소 함량

은 Kjeldahl법(B-324, 412, 435 and 719Titrino, BUCHI, Germany)을 이용하여 나온 조단백질 함량에 질소계수를 나누어 분석하였고, 유기물 함량은 회화로(muffle furnace, Nabertherm, Liliental, Germany)를 이용하여 550°C에서 4시간 동안 회화시킨 후 나온 조회분 함량을 시료 무게에서 뺀 값으로 계산하였다. 우분 추출액은 채취한 우분 20 g과 증류수 180 mL를 믹서기에서 30초간 혼합한 후 거즈로 걸러서 제조하였다. 제조된 우분 추출물은 pH meter(SevenEasy, Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)를 이용하여 pH를 측정하였다. C/N율은 유기물에 총질소를 나누어 계산하였다.

3. 미생물 성장

미생물은 배양 0주, 4주 및 12주에 채취한 우분 1 g을 멸균 희석액(0.84% NaCl)으로 10진 희석법에 따라 희석 후 균수 측정을 위하여 각 희석 단계의 희석액을 사용하였다. 유산균(LAB, lactic acid bacteria)은 *Lactobacilli* MRS agar media (MRS, Difco, Detroit, MI, USA)에 희석액 100 μ L를 도말하여 30°C에서 48시간 배양 후 균 수(log10 cfu/g)를 측정하였다. 고초균(*Bacillus subtilis*)은 Luria bertani agar (LB Agar, Difco Laboratories, MI, USA)를 이용하였고, 효모균(yeast)은 potato dextrose agar(PDA, Difco, Detroit, MI, USA)를 이용하여 분석하였다. 살모넬라(*Salmonella*)와 대장균(*E.coli*)은 SS agar (Difco Laboratories, MI, USA)와 Violet red bile agar (VRB agar, Difco Laboratories, MI, USA)에 희석액 100 μ L를 도말하여 유산균과 같은 방법으로 균 수(log10 cfu/g)를 측정하였다. 분석은 3반복으로 수행하였으며, 반복의 평균값은 통계분석에 이용하였다.

4. 가스 발생량 및 부숙도

가스 발생량은 채취한 분 중 300 g을 가스 포집 용기에 넣은 후 밀봉하여 실온에 2시간 정체시킨 후 가스분석기(GASTEC, PUM SET GB GV-100S, Japan)를 이용하여 암모니아(GASTEC detector tube, ammonia no. 3L, Japan)와 황화수소(GASTEC detector tube, Hydrogen Sulphide no. 4LK, Japan)를 분석하였다. 퇴비 부숙도는 채취한 분 중 200 g을 콤팩 전용 용기에 넣은 후 밀봉하여 실온에 2시간 정체시킨 후 콤팩 키트와 용기와 결합시켜 밀폐된 상태로 상온에 30분간 정체시킨 후 콤팩 분석 기기(COMME-100, E&A TECH, Korea)를 통하여 분석에 이용하였다.

5. 통계처리

본 시험에서 얻어진 결과는 PROC GLM SAS program (v. 9.1 program, 2002)을 이용하였으며, Tukey test ($p < 0.05$)로 처리 구간 유의성 검정을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 미생물 첨가 전 우분의 성상

미생물 첨가 전 한우 비육우 분의 이화학적 특성, 미생물 성상 및 퇴비 부숙도는 Table 1과 같다. 한우 비육우 바닥의 수분, 유기물, 총 질소 및 C/N율은 각각 59.1%, 83.2%, 1.78% 및 50.0%와 같으며, pH는 9.31로 나타났다. 유산균, 효모균 및 고초균은 각각 5.94, 6.83 및 7.28 cfu/g과 같이 나타났으며, 대장균은 5.52 cfu/g, 살모넬라는 검출되지 않았다. 또한 암모니아 발생량은 4.67 ppm/100 mL로 나타났으며, 황화수소는 발생되지 않았다. 또한 퇴비 부숙도는 아직 퇴비가 부숙되지 않은 상태로 분석되었다. 한우 우분은 이화학적 특성은 다른 한우 우분과 비슷한 수준으로 분석되었다(Joo et al., 2021).

2. 미생물 첨가 4주 후 우분의 성상

미생물 첨가 4주 후 한우 비육우 분의 이화학적 특성, 미생물 성상 및 퇴비 부숙도는 Table 2와 같다. 수분은 미생물 첨가구에서 대조구에 비하여 유의적으로 낮게 나타났다($p=0.047$; 67.1 vs. 57.7%). 이는 우사 바닥에 우드칩을 깔아주어서 우드칩이 수분을 흡착시켜 수분함량이 낮게 나타났을 것으로 사료된다. 수분은 우분의 성상 변화에 가장 중요한 요인 중 하나로, 수분 함량이 높을수록 미생물의 성장이 증진되며, 수분 함량으로 인하여 부숙도에 영향을 미친다고 보고하였다(Ward et al., 2002; Kim et al., 2004). 유기물 함량은 대조구에서 유의적으로 높게 나타났다($p=0.006$; 79.7 vs. 73.0%). 이는 미생물 처리구에서 우사 바닥에 우분없이 우드칩을 깔짚으로 깔았기 때문에 우드칩이 유기물 함량이 낮고 무기물 함량이 높은 것 때문인 것으로 사료된다. 또한 유기물이 분해 될 때 수분이 감소하면 미생물 대사열을 통한 열 손실이 발생하여 유기물 분해와 밀접한 연관을 갖는다(Miller and Finstein, 1985). 총질소 함량은 대조구에서 유의적으로 높게 나타났다($p=0.028$; 1.98 vs. 1.51%). 이 또한 미생물 첨가구에서 낮은 깔짚의 총질소 함량 때문에 우분의 총질소 함량이 낮게 나타난 것으로 사료된다. 질소는 암모니아를 생성시킬 수 있는데, 낮은 총질소 함량은 암모니아 생성을 저하시켜 악취를 줄일 수 있다. C/N율은 처리구간 유의적인 차이가 나타나지 않았다($p > 0.05$). pH는 미생물 처리구에서 유의적으로 낮게 나타났는데

Table 1. Chemical characteristics, microbes, gas emissions, and compost maturity of Hanwoo steer manure just before microbial additive applications

	Manure	SE
Chemical characteristics		
Moisture, %	59.1	2.181
Organic matter, % DM	83.2	1.965
Total nitrogen, % DM	1.78	0.180
C/N ratio	50.0	6.870
pH	9.31	0.076
Microbes		
Lactic acid bacteria, cfu/g	5.94	0.637
Yeast, cfu/g	6.83	0.426
<i>Bacillus subtilis</i> , cfu/g	7.28	0.190
<i>Salmonella</i> , cfu/g	ND	N/A
<i>E. coli</i> , cfu/g	5.52	0.197
Gas emissions		
NH ₃ , ppm	4.67	2.376
H ₂ S, ppm	ND	N/A
Compost maturity	Before	N/A

C/N ratio, organic matter to total nitrogen ratio; SE, standard error; ND, not detected; N/A, not available.

Table 2. Effects of microbial additives on chemical characteristics, microbes, gas emissions, and compost maturity of Hanwoo steer manure at 4 weeks

	Treatments ¹		SEM	P-value
	CON	AMA		
Chemical characteristics				
Moisture, %	67.1 ^a	57.7 ^b	4.043	0.047
Organic matter, % DM	79.7 ^a	73.0 ^b	1.520	0.006
Total nitrogen, % DM	1.98 ^a	1.51 ^b	0.17	0.028
C/N ratio	40.6	48.5	3.803	0.064
pH	9.50 ^a	9.36 ^b	0.045	0.021
Microbes				
Lactic acid bacteria, cfu/g	6.81	6.74	0.141	0.602
Yeast, cfu/g	6.39 ^a	5.63 ^b	0.274	0.028
<i>Bacillus subtilis</i> , cfu/g	6.66	6.32	0.568	0.500
<i>Salmonella</i> , cfu/g	ND	ND	N/A	N/A
<i>E. coli</i> , cfu/g	5.08	5.16	0.508	0.868
Gas emissions				
NH ₃ , ppm	3.00	4.67	2.483	0.457
H ₂ S, ppm	ND	ND	N/A	N/A
Compost maturity	complete	complete	N/A	N/A

¹CON, no additives; AMA, applications of microbial additives.

C/N ratio, organic matter to total nitrogen ratio; SEM, standard error mean; ND, not detected; N/A, not available.

($p=0.021$; 9.50 vs 9.36), 이는 미생물 첨가구에서 미생물과 우드 칩 처리로 인하여 pH가 감소된 것으로 사료된다. 미생물이 활동하기 좋은 최적의 pH는 6.7-9.0으로 나타나는데(Miller, 1992), 본 시험에서는 9.0보다 높게 나타난 것은 과부숙된 것으로 사료된다. 이는 퇴비화가 진행될수록 pH를 급격하게 증가하는 경향을 나타낼 수 있는데 이는 암모니아 발생량 증가와도 연관이 있는 것으로 볼 수 있다(Lee et al., 2005; Mari et al., 2005). 효모균 수는 미생물 처리구에서 유의적으로 낮게 나타났으며($p=0.028$; 6.39 vs 5.63 cfu/g), 유산균, 고초균, 살모넬라 및 대장균 수는 유의적으로 차이가 나타나지 않았다($p>0.05$). 본 결과로 보았을 때, 40일까지는 미생물 처리에 의하여 효모균을 제외하고, 미생물 성상에 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다. 이는 우분이 퇴비화되어가면서 미생물들이 서로 상호 경쟁하는 것으로 판단된다(Kim et al., 2004). 암모니아, 황화수소 발생량 및 퇴비 부숙도는 처리구간 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 암모니아와 황화수소는 악취의 주 요인으로 이는 분뇨의 유기물이 분해되어 생성되어 가축의 건강과 면역에 영향을 미치는데(Kim et al., 1999), 양돈 분뇨에 미생물 처리 후 80일간 부숙하였을 때, 분내 균 활성 억제제를 통하여 악취를 70% 감소시켰으며(Choi et al., 2015), 미생물 처리 후 양돈분뇨에 40일간 부숙시켰을 때, 암모니아는 약 84%, 황화수소는 100% 감소시켰다고 보고하였다(Jeong et al.,

2019). 하지만 본 연구에서는 영향을 미치지 않았다. 퇴비 부숙도는 미생물 처리에 관계없이 40일이 지났을 때 부숙이 완료되었다. 분뇨의 퇴비 부숙이 진행될수록 암모니아와 황화수소 등을 발생시켜 악취를 유발 시키는데(Hong, 2003), 본 결과에서는 부숙이 완료되어 가스발생량 및 악취 개선에 도움이 될 것으로 사료된다.

3. 미생물 첨가 12주 후 우분의 성상

미생물 첨가가 12주 후 한우 비육우 분의 이화학적 특성, 미생물 성상 및 퇴비 부숙도는 Table 3과 같다. 수분은 4주 후 결과와 유사한 패턴을 보였으며, 미생물 첨가구에서 대조구에 비하여 유의적으로 낮게 나타났으며($p<0.001$; 72.0 vs. 57.5%), 유기물, 총 질소, C/N을 및 pH는 처리구간 유의적인 차이가 나타나지 않았다($p>0.05$). 이는 12주가 지났을 때, 유기물, 총 질소 및 C/N율은 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다. 유산균($p=0.021$; 6.64 vs. 7.40 cfu/g)과 고초균 수($p=0.002$; 6.12 vs. 7.38cfu/g)는 미생물 첨가구에서 유의적으로 높게 나타났으며, 효모균 수는 낮게 나타났($p<0.001$; 6.42 vs. 5.33 cfu/g). 이는 미생물 첨가구에서 미생물 첨가에 의한 효과로 나타날 수 있으며, 유익균인 유산균과 고초균의 우점을 통하여 병원성 미생물 균의 성장을 억제시킬 수 있다고 보고하였다(Gibson and Roberfroid, 1995). 대장균 수

Table 3. Effects of microbial additives on chemical characteristics, microbes, gas emissions, and compost maturity of Hanwoo steer manure at 12 weeks

	Treatments ¹		SEM	P-value
	CON	AMA		
Chemical characteristics				
Moisture, %	72.0 ^a	57.5 ^b	0.428	<0.001
Organic matter, % DM	77.1	80.4	2.132	0.129
Total nitrogen, % DM	3.13	2.90	0.297	0.402
C/N ratio	0.04	0.04	0.005	0.299
pH	9.24	9.23	0.049	0.756
Microbes				
Lactic acid bacteria, cfu/g	6.64 ^b	7.40 ^a	0.250	0.021
Yeast, cfu/g	6.42 ^a	5.33 ^b	0.032	<0.001
<i>Bacillus subtilis</i> , cfu/g	6.12 ^b	7.38 ^a	0.212	0.002
<i>Salmonella</i> , cfu/g	ND	ND	N/A	N/A
<i>E. coli</i> , cfu/g	5.13 ^a	4.88 ^b	0.122	0.049
Gas emissions				
NH ₃ , ppm	6.00	8.50	3.189	0.454
H ₂ S, ppm	ND	ND	N/A	N/A
Compost maturity				
	complete	complete	N/A	N/A

¹CON, no additives; AMA, applications of microbial additives.

C/N ratio, organic matter to total nitrogen ratio; SEM, standard error mean; ND, not detected; N/A, not available.

는 대조구에서 유의적으로 높게 나타났고($p=0.049$; 5.13 vs. 4.88 cfu/g), 살모넬라는 검출되지 않았다. 미생물 첨가구에서 대장균 수가 감소하였는데 이는 앞서 말한 듯이 12주 동안 미생물 첨가에 의하여 유익균의 우점에 의하여 대장균 수가 감소하였다. 대장균과 살모넬라는 장질환과 식중독 등을 유발시켜 가축의 건강과 생산성을 저하시키는 요인이 되는데(Song and Chai, 1998; Jajere, 2019), 본 결과에서는 미생물 첨가 시 대장균이 감소하여 가축의 건강과 생산성을 개선시킬 것으로 사료된다. 암모니아와 황화수소 발생량은 처리구간 유의적인 차이가 나타나지 않았다($p>0.05$). 이는 12주간 미생물 처리에 따른 처리구간의 효과는 나타나지 않은 것으로 사료된다. 퇴비부숙도는 처리구 모두 부숙 완료된 상태인데, 이미 4주차일 때 퇴비부숙이 완료되어 이와 같은 결과를 나타낸 것으로 사료된다.

IV. 요약

본 연구에서는 미생물 첨가에 따라 거세한우 비육우 분의 이화학적 특성, 미생물 성장, 가스발생량 및 퇴비 부숙도에 미치는 영향을 규명하고자 수행하였다. 이상의 결과를 종합하면, 4주 후,

미생물 첨가구에서 수분, 유기물, 총질소 함량 및 pH가 낮았으며, 나머지 이화학적 특성에서는 차이가 나타나지 않았다. 유산균과 효모균 수는 증가하였으며, 대장균 수는 감소하였다. 12주 후, 미생물 첨가구에서 유산균과 고초균 수는 높았으나, 수분, 효모 및 대장균 수는 낮게 나타났다. 하지만 암모니아, 황화수소 발생량과 퇴비 부숙도는 미생물 첨가에 의한 효과가 나타나지 않았다. 따라서, 거세한우 분에 미생물을 첨가하면 유익균은 증가하고, 병원성 미생물은 감소하여, 비육우의 생산성은 증진될 것으로 사료되지만, 가스 발생량 및 퇴비 부숙도에 대한 추가적인 연구는 지속적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

V. 사사

본 논문은 농림수산식품기술기획평가원 축산현안대응산업화 기술개발사업(과제번호: 321083-05-2-HD040)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

VI. REFERENCES

Effects of Microbial Additives on Hanwoo Steer Manure

- AOAC. 2005. Official methods of analysis (18th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Arlington. Virginia. USA.
- Choi, I.H., Lee, H.J., Kim, D.H., Lee, Y.B. and Kim, S.C. 2015. Evaluation of probiotics on animal husbandry and environmental management as manure additives to reduce pathogen and gas emissions in pig slurry. *Journal of Environmental Science International*. 24:25-30. doi:10.5322/JESI.2015.24.1.25
- Gibson, G.R. and Roberfroid, M.B. 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *The Journal of Nutrition*. 125:1401-1412. doi:10.5322/JESI.2015.24.1.25
- Hong, J.H. 2003. Quality criteria of manure compost and composting odor control. *Journal of Animal Environmental Science*. 9:57-60.
- Jajere, S.M. 2019. A review of *Salmonella enterica* with particular focus on the pathogenicity and virulence factors, host specificity and antimicrobial resistance including multidrug resistance. *Veterinary World*. 12:504-521. doi:10.14202/vetworld.2019.504-521
- Jeong, C.H., Park, M.J. and Jeong, D.W. 2019. Reduction of odor from swine manure using soil microorganisms on liquid manure circulation system. *Journal of Korean Society of Water Science and Technology*. 27:97-106. doi:10.17640/KSWST.2019.27.2.97
- Joo, Y.H., Lee, S.S., Noh, H.T., Choi, J.S., Jeong, S.M., Choi, S.W. and Kim, S.C. 2021. Effects of mineral additives on chemical compositions, microbes and gas emissions of Hanwoo cow manure. *Journal of Agriculture & Life Science*. 55:95-102. doi:10.14397/jals.2021.55.4.95
- Kang, M.I., Han, D.U., Chung, Y.U., Chung, D.Y., Lee, C.Y., Lee, C.G., Wee, S.H. and Cho, J.J. 2001. Survey on Korean-native calves diseases and mortality. *Korean Journal of Veterinary Service*. 24:223-241.
- Kim, K.Y., Choi, H.L., Ko, H.J., Lee, Y.G. and Kim, C.N. 2006. Evaluation of odor reduction in the enclosed pig building through spraying biological additives. *Journal of Animal Science and Technology*. 48:467-478. doi:10.5187/JAST.2006.48.3.467
- Kim, T.I., Han, J.D., Nam, E.S., Yang, C.B., Kim, J.W. and Baik, S.Y. 1999. Effects of forest soil bacteria on deodorizing in pig slurry. *Journal of Animal Science and Technology*. 41:101-108.
- Kim, T.I., Song, J.I., Yang, C.B. and Kim, M.K. 2004. Studies on a factor affecting composts maturity during composition of swine manure. *Journal of Animal Science and Technology*. 46:261-272. doi:10.5187/JAST.2004.47.2.261
- Lee, J.E., Hong, J.H., Chang, K.W. and Hwang, J.Y. 2005. Effect of pyrolygneous acid liquor on the maturity of pig manure compost. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 38:101-107.
- Mari, I., Ehaliotis, C., Kotsou, M., Chatzipavlidis, I. and Georgakakis, D. 2005. Use of sulfur to control pH in composts derived from olive processing by-products. *Compost Science & Utilization*. 13:281-287. doi:10.1080/1065657X.2005.10702252
- Miller, F.C. 1992. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. In: F.B. Metting Jr. (Ed.), *Soil microbial ecology. Applications in Agricultural and Environmental Management*, Marcel Dekker. New York. pp. 515-544.
- Miller, F.C. and Finstein, M.S. 1985. Materials balance in the composting of wastewater sludge as affected by process control. *Journal (Water Pollution Control Federation)*. 57:122-127.
- Petersen, R.G. 1985. Design and analysis of experiments. Marcel Dekkor. New York. p. 436.
- SAS Institute Inc. 2002. SAS/STAT user's guide: Version 9. SAS Institute Inc., Cray. NC.
- Shin, H.J. 2002. Effect on livestock manure composting by the enriched microbial population. *Journal of Life Science*. 12:129-135.
- Song, H.J. and Chai, H.S. 1998. Colibacillosis in domestic animals, a review. *Korean Journal of Veterinary Service*. 21:413-429.
- Statistics Korea. 2022. Korean statistical information service. https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?vwcd=MT_ZTI TLE&menuId=M_01_01#content-group
- Terada, A., Hara, H., Li, X.T., Yagi, S., Ichikawa, H., Nishi, J. and Mitsuoka, T. 1994. Effect of a microbial preparation on fecal flora and fecal metabolic products of pigs. *Animal Science and Technology (Japan)*. 65:806-814.
- Ward, W.R., Hughes, J.W., Faull, W.B., Cripps, P.J., Sutherland, J.P. and Sutherst, J.E. 2002. Observational study of temperature, moisture, pH and bacteria in straw bedding and faecal consistency, cleanliness and mastitis in cows in four dairy herds. *Veterinary Record*. 151:199-206. doi:10.1135/vr.151.7.199
- Yasuhara, A., Fuwa, K. and Jimbu, M. 1984. Identification of odorous compounds in fresh and rotten swine manure. *Agricultural Biological Chemistry*. 48:3001-3010. doi:10.1080/00021369.1984.10866622

(Received : December 08, 2022 | Revised : December 26, 2022 | Accepted : December 27, 2022)