

# 풀빅산의 돼지 음수 투여 및 양돈장 분무가 냄새 저감에 미치는 영향

배수연<sup>1,2</sup> · 송윤수<sup>1</sup> · 이상락<sup>1</sup> · 김법균<sup>1</sup> · 송준익<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>건국대학교 동물자원과학과, <sup>2</sup>연암대학교 축산계열

## Malodor-reducing effects of providing fulvic acid to growing pigs in drinking water and spraying fulvic acid in swine barns

Su Yeon Bae<sup>1,2</sup>, Yoon Soo Song<sup>1</sup>, Sang Rak Lee<sup>1</sup>, Beob Gyun Kim<sup>1</sup> and Jun Ik Song<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Animal Science and Technology, Konkuk University, Seoul 05029, Korea  
<sup>2</sup>Division of Animal Husbandry, Yonam College, Cheonan 31005, Korea



Received: Aug 10, 2022  
Accepted: Nov 10, 2022

### \*Corresponding author

Jun Ik Song  
Division of Animal Husbandry,  
Yonam College, Cheonan 31005,  
Korea  
Tel: +82-41-580-1071  
E-mail: sjunik@yonam.ac.kr

Copyright © 2022 Korean Society of Animal Science and Technology. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### ORCID

Su Yeon Bae  
<https://orcid.org/0000-0002-9366-4919>  
Yoon Soo Song  
<https://orcid.org/0000-0001-6471-799X>  
Sang Rak Lee  
<https://orcid.org/0000-0002-8905-0770>  
Beob Gyun Kim  
<https://orcid.org/0000-0003-2097-717X>  
Jun Ik Song  
<https://orcid.org/0000-0001-8429-0065>

### Abstract

The objective of the present work was to evaluate the malodor-reducing effects of spraying fulvic acid in swine barns and providing to growing pigs in drinking water. Fulvic acids for drinking and for spraying to barns were prepared at 0.02%, and fulvic acid for spraying to compost were prepared at 0.1%. Prepared fulvic acid of 1 L was sprayed to the test nursery pig barns twice a week but was not sprayed to the control barn. Fulvic acid at 0.02% for drinking was provided to growing pigs for 4 weeks but was not provided to the control group. In the experiment for spraying to compost, 3 additives consisted of 1) probiotics 0.08 L, 2) probiotics 0.04 L + fulvic acid 0.04 L, and 3) fulvic acid 0.08 L were tested by adding to the compost samples of 80 L in 100 L plastic bucket for each and directly adding to the mechanical agitated composting facility. As a result of spraying fulvic acids to nursery pig barns, ammonia concentration was not increased compared with the control barn in which ammonia increased continuously. Fulvic acid provided to growing pigs did not result in difference of excreted ammonia compared with the control group. Probiotics, probiotics + fulvic acid, and fulvic acid sprayed to the test compost resulted in reduced malodor and ammonia after agitation compared with before agitation ( $p < 0.001$ ) with the greatest effects in the fulvic acid group among the 3 additives. Additionally, the temperature of compost receiving fulvic acid reached 40°C earlier than that of the control compost, which means that the time for primary fermentation of the compost was advanced by receiving fulvic acid. In conclusion, fulvic acid at 0.02% sprayed to pig barns and fed to pigs as water showed effective reduction of malodor, and fulvic acid at 0.1% sprayed to the compost reduced the time for primary fermentation and thus decreased the malodor.

**Keywords:** Fulvic acid, Malodor, Pigs, Swine barns

**Competing interests**

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

**Funding sources**

Not applicable.

**Acknowledgements**

Not applicable.

**Availability of data and material**

Upon reasonable request, the datasets of this study can be available from the corresponding author.

**Authors' contributions**

Conceptualization: Bae SY, Song JI.  
 Data curation: Song YS, Song JI.  
 Formal analysis: Bae SY.  
 Methodology: Lee SR, Kim BG, Song JI.  
 Validation: Song YS, Lee SR, Kim BG.  
 Investigation: Bae SY, Song JI.  
 Writing - original draft: Bae SY, Song YS.  
 Writing - review & editing: Lee SR, Kim BG, Song JI.

**Ethics approval and consent to participate**

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

## 서론

국내 양돈 산업이 점차 규모화 됨에 따라 각 농가에서 많은 양의 가축분뇨가 발생하고 있으며, 악취로 인한 지역사회와의 갈등 및 민원이 증가하고 있다. 돈사의 악취 발생은 돼지가 배설하는 분뇨에 존재하는 유기물이 부패하면서 발생하는 휘발성 악취물질이 주요 원인이다[1]. 악취 물질로는 암모니아(ammonia), 황 화합물, 휘발성 지방산, 인돌(indole), 스카톨(skatole), 페놀(phenol), 알코올(alcohol) 및 카보닐(carbonyl) 등이 있으며[2], 돈사 내에서 발생하는 악취물질의 경우 인체에 정신적 및 생리적 스트레스를 유발하며, 메스꺼움, 두통, 식욕감퇴, 호흡곤란 및 알레르기 현상을 나타내기도 한다[3,4]. 이에 정부는 가축분뇨에서 발생하는 악취물질을 저감을 위해 퇴비 부숙도 검사를 시행하는 등 지속적인 양돈 산업을 영위하기 위해 축산 악취에 대한 대응책 마련에 힘쓰고 있다.

돼지 분뇨에서 검출되는 미생물의 구성은 Gram-positive cocci(39%), *Eubacterium*(27%), *Lactobacillus*(20%), *Escherichia*(8%), *Clostridium*(4%), *Propionibacterium acnes*, *Bacteroides*(2%) 등으로 혐기성 혹은 통혐기성 균이 주종을 이루고 있으며, 이러한 미생물들의 작용으로 인해 분뇨로부터 악취가 발생하게 된다[5]. *Clostridium* spp.는 악취 생성에 중요한 역할을 하는 미생물이며, 암모니아, 황화수소, 지방산 및 아민(amine)을 다량 생성하고 인돌 및 페놀 생성에 관여한다[6].

축산농가의 악취저감 방안으로서 배기팬에 덕트를 설치하여 바이오필터로 처리하는 방법[7], 냉각 회수법을 이용한 악취물질 제거 방법, 과망가니즈산 칼륨[8], 과산화수소[9] 및 오존[10]과 같은 산화제를 이용한 방법 등이 제기되었으나, 경제성 또는 안전성 등의 문제로 인해 현실적으로 농가 단위의 축산현장에 적용하기에는 어려운 실정이다[11]. 이에 대한 대안으로서 생물학적 방법을 이용한 악취저감 방법을 고려해 볼 수 있다. 생물학적 방법의 장점은 화학물질을 사용하지 않고 에너지 사용이 적으며, 2차 오염물질을 발생시키지 않는다는 점이다[12]. 생물학적 방법 중 하나로 피트모스(peat moss)를 이용한 방법[13]을 예로 들 수 있는데, 악취가스 제거에 관한 연구에 따르면, 친환경 재료인 피트모스의 사용이 암모니아 저감에 유용하다고 보고하였다[14]. 피트모스에서 추출한 휴믹물질은 이화학적 특성에 따라 휴민(humin), 휴믹산(humic acid) 및 풀빅산(fulvic acid)으로 구분된다[15]. 우크라이나 연구진에 따르면 풀빅산은 휴믹물질의 81% 내지 95%를 차지할 만큼 가장 많이 존재하며[16], 에틸레이트(ethylate), 히드록시벤젠(hydroxybenzene), 발색단(chromophore), 카복실기(carboxyl grou) 등을 포함하는 유기 중합체의 집합체이다[17]. 이러한 풀빅산은 페놀성 및 카르복시 화합물의 음전하 부위에 흡착되어 암모니아성 질소 농도를 감소시키는 것으로 알려져 있다[18]. 하지만 풀빅산의 사용이 돈사 내 양돈 분뇨로부터 발생하는 악취에 미치는 영향에 관한 연구는 현재 부족한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 악취 저감에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 예상되는 풀빅산을 자돈사, 육성사 및 퇴비화 시설에 분무 혹은 음수 투여하였을 때 암모니아 발생량, 황화수소 가스 발생량 및 퇴비 부숙에 미치는 영향을 조사하여, 풀빅산의 양돈장내 악취 저감 및 퇴비 부숙 효과를 평가하는 것이다.

## 재료 및 방법

### 돈사 분무 실험 및 음수 투여 실험

본 실험을 위해 분무용 및 음수 투여용 풀빅산(0.02%)을 제조하였으며, (주)삼양애니팜(Seoul, Korea)에서 공급한 캐나다산 풀빅산을 사용하였다. 분무 실험은 2주간 대조구 및 실험구 자돈사를 두어 진행하였는데, 실험구에는 0.02%로 제조된 풀빅산을 1회당 1리터씩 주 2회 분무하였으

며, 대조구에는 풀빅산을 분무하지 않았다. 음수 투약 실험은 4주간 대조구 및 실험구 육성사를 대상으로 진행하였는데, 실험구에는 제조한 풀빅산(0.02%)을 실험 기간 동안 음수 투여한 반면, 대조구에는 음수 투여하지 않았다. 실험 돈사 내 사육 두수 및 돈사 규격에 관한 정보는 Table 1에 제시되어 있다. 악취 가스의 지표로서 암모니아 및 황화수소 농도를 검지관을 이용하여 현장 직독식 측정으로 진행하였다. 악취 가스 측정은 돈사 내 1/3 및 2/3 지점의 바닥으로부터 30 cm 지점, 작업자 환경에 영향을 미치는 120 cm 지점 및 배기구에서 실시하였다(Figs. 1 and 2). 악취 가스는 가스측정기, 가스택 검지기, 풍속계 및 온습도계를 이용하여 측정하였다.

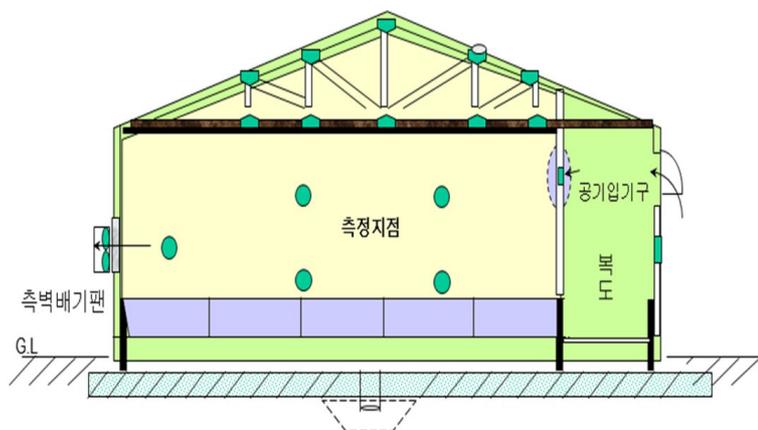
### 퇴비 분무 실험

본 실험은 크린폰하이산(삼양애니팜, 서울, 한국), 크린폰하이산 + 풀빅산 및 풀빅산을 이용하여 세 개의 실험구로 진행하였다. 크린폰하이산 및 풀빅산의 분무농도는 일반적인 미생물제 첨가수준인 1 ton당 1 L로 설정하였다. 위 세 개의 물질을 80 L의 혼합 퇴비가 담긴 100 L 플라스틱 통 안에 35일간 크린폰하이산 0.08 L, 크린폰하이산 0.04 L + 풀빅산 0.04 L 및 풀빅산 0.08 L를 분무하였다. 직접 뒤집기를 통해 교반 전후의 악취를 측정하였다. 분무 후 30분, 2시간 및 3시간 경과 때마다 복합 악취 측정 기기를 이용하여, 암모니아, 황화수소 및 디메틸아민(dimethylamine)을 측정하였고, 동시에 직접 관능법을 통해 복합 악취 세기 또한 평가하였다. 직접 관능법을 통한 복합 악취 세기의 평가는 3명의 판정요원이 측정 대상 부지 경계선에서 냄새 수준 6단계(Table 2)를 기준으로 부여한 점수의 평균을 적용하였다.

**Table 1.** Nursery pig barns and growing pig barns tested in the present study

Barn <sup>1)</sup>	Number of head	Size of barns (m <sup>2</sup> )	Allowed space (m <sup>2</sup> /head)
Nursery pig			
Control	128	4.3 × 14.7	0.49
Fulvic acid	126	4.3 × 14.7	0.50
Growing pig			
Control	274	8 × 40	1.17
Fulvic acid	269	8 × 40	1.19

<sup>1)</sup>Nursery and growing pig barns were used for spraying and drinking test of fulvic acid, respectively.



**Fig. 1.** Odor-measuring point in nursery pig barns for the experiment of spraying fulvic acid.

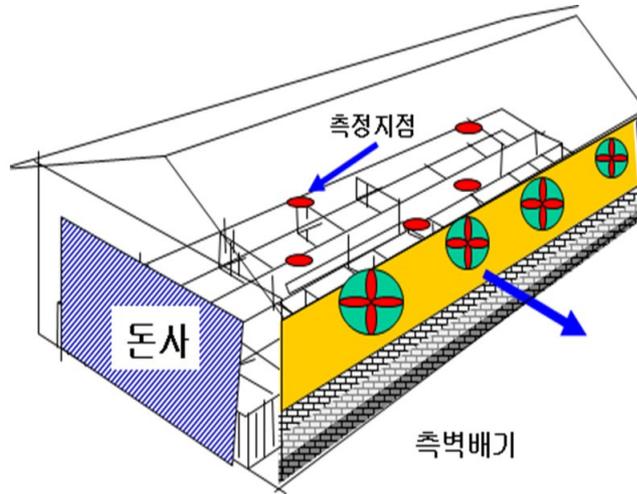


Fig. 2. Odor-measuring point in growing pig barns for the experiment of providing fulvic acid in drinking water.

Table 2. Standard of scoring for direct sensory method (odor intensity method)

Malodor score	Degree of odor
0 (none)	Odorless
0 < Score ≤ 1 (threshold)	Barely detectable odor
1 < Score ≤ 2 (moderate)	Detectable odor
2 < Score ≤ 3 (strong)	Strong odor
3 < Score ≤ 4 (very strong)	Very strong odor
4 < Score ≤ 5 (over strong)	Unbearable odor

풀빅산의 분무가 퇴비 부숙에 따른 온도 변화에 미치는 영향을 확인하기 위하여 기계 교반식 퇴비화 시설에서 기존 설치된 오존 발생 분무장치를 이용하여 실험을 실시하였다. 분무 노즐 (0.32 mm) 및 악취저감 바이오커텐(외부차광율 75%) 2겹을 설치하였다. 퇴비 부숙에 따른 온도 변화는 기계 교반식 퇴비화 시설 25 m 지점에서 측정하였다.

### 계산 및 통계 분석

악취 저감 효과를 알아보기 위하여 gas chromatography with flame ionization detector 측정 및 악취발생량 산출 공식[19]을 이용하여 악취 변화를 계산하였다.

$$\text{암모니아} = 1.670 \times \text{Log } X + 2.38$$

$$\text{프로피온산(propionic acid)} = 1.380 \times \text{Log } X + 4.60$$

$$\text{뷰틸산(butyric acid)} = 1.290 \times \text{Log } X + 6.37$$

$$\text{I-발레르산(I-valeric acid)} = 1.090 \times \text{Log } X + 5.65$$

$$\text{n발레르산(n-valeric acid)} = 1.580 \times \text{Log } X + 7.29$$

$$\text{휘발성 유기화합물(휘발성 지방산 4종 평균 Log식 적용)} = 1.335 \times \text{Log } X + 5.978$$

결과데이터는 SAS(SAS Institute, Cary, NC, USA)의 PROC MIXED를 이용하여 분석하였

으며, 통계 모델의 고정변수는 처리구로 설정하였다. 모든 분석의 통계적 유의성은  $p < 0.05$ 로 경향은  $0.05 < p < 0.10$ 로 설정하였다.

## 결과 및 고찰

### 풀빅산 분무가 돈사 내 악취 저감에 미치는 영향

자돈사 내 풀빅산 분무 실험 결과, 풀빅산을 분무한 실험구에서 풀빅산을 분무하지 않은 대조구에 비해 암모니아 발생량이 더 낮았다( $p < 0.001$ ; Table 3). 또한, 돈사 내 풀빅산 분무에 따른 악취 발생량의 변화를 GC/FID를 이용하여 측정한 결과, 악취발생량의 저감 효과가 나타났다( $p < 0.05$ ; Table 4). 최근, Kim et al. [20]은 오줌의 pH가 5 이하인 상태에서는 암모니아의 휘발이 거의 일어나지 않는다고 보고하였다. 분뇨를 산성화시키면 분뇨 내 암모니아를 효과적으로 보존할 수 있으며[21], 풀빅산은 암모니아의 휘발을 감소시킨다는 연구 결과[22]로 미루어 보아, 본 실험에서 분무된 풀빅산이 돈사 안에 존재하는 분뇨 내 암모니아의 휘발을 감소시켰다는 것을 짐작할 수 있었다.

### 풀빅산 음수 투여가 돈사 내 악취 저감에 미치는 영향

육성돈사 내 풀빅산 음수 투여 실험 결과, 풀빅산을 투여한 실험구와 풀빅산을 투여하지 않은 대조구 간에 암모니아 및 황화수소 발생량의 차이가 나타나지 않았다(Table 3). 따라서 음수 투여로 인한 악취저감 효과는 없다고 판단하였다. 이전 연구에 따르면, 풀빅산을 섭취할 경우 장내 소화 활성, 항산화 활성 및 면역 기능 향상에 도움을 주며, 장내 유해균인 *Serratia*, *Acinetobacter*,

**Table 3.** Effects of spraying 1 liter of fulvic acid (0.02%) twice per week in nursery pig barns and providing fulvic acid (0.02%) in drinking water in growing barns on ammonia (NH<sub>3</sub>) and hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) production

Item	Day:	Control					Fulvic acid					SEM	p-value for fulvic acid effect
		3	5	8	10	12	3	5	8	10	12		
Spraying													
NH <sub>3</sub> (mg)		8	7	9	9	8	6	5	7	6	6	0.1	< 0.001
Drinking													
NH <sub>3</sub> (mg)		5	8	4	6	12	4	3	4	6	8	0.7	0.129
H <sub>2</sub> S (mg)		0	0	2	0	2	0	0	0	2	0	0.5	0.621

**Table 4.** Effects of spraying 1 liter of fulvic acid (0.02%) twice per week on reduction of malodor in nursery pig barns<sup>1)</sup>

Item	Control	Fulvic acid	SEM	p-value
Ammonia	13.21	11.34	-	-
Propionic acid	4.78	3.92	-	-
Butyric acid	4.65	4.21	-	-
l-Valeric acid	5.21	4.67	-	-
n-Valeric acid	4.69	4.23	-	-
Volatile organic compounds	8.21	6.74	-	-
Mean	6.79	5.85	0.17	0.012

<sup>1)</sup>The odors were measured by using gas chromatograph/flame ionization detector.

*Aeromonas*, *Edwardsiella* 등을 억제시키고, *Lactobacillus*와 같은 유익균을 보호한다고 보고하였다 [23]. 이러한 효과가 본 실험에서 나타나지 않은 이유는 알 수 없으나, 아마도 폴빅산을 섭취한 육성돈에서 장 환경과 관련된 스트레스가 없었기 때문인 것으로 보인다. 앞으로 폴빅산의 장환경 개선 및 악취 가스 발생 저감 효과에 관한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

**폴빅산 분무가 퇴비장 발생 악취 저감에 미치는 영향**

복합 악취 측정 기기를 이용하여 복합 악취를 측정된 결과, 교반 전의 폴빅산 처리구, 교반 후의 크린폰하이산 + 폴빅산 처리구 및 교반 후의 폴빅산 처리구 간의 차이가 없었으며, 동시에 가장 낮은 발생량을 나타냈지만( $p < 0.001$ ; Table 5), 수치상으로는 교반 후의 폴빅산 처리구에서 가장 큰 효과를 보였다. 직접관능법을 이용한 평가에서는 교반 후의 크린폰하이산 + 폴빅산 및 교반 후의 폴빅산 처리구에서 가장 낮은 발생량을 나타냈지만( $p < 0.001$ ; Table 6), 복합 악취 측정 기기를 통한 측정과 마찬가지로 수치상으로는 교반 후의 폴빅산 처리구에서 가장 큰 효과를 보였다. 암모니아 발생량은 교반 전 세 개 처리구에 비해 교반 후에 더 저감되었지만( $p < 0.001$ ; Table 7), 수치상으로는 교반 후의 폴빅산 처리구가 나머지 두 개 처리구에 비해 두 배 이상의 암모니아 저감 효과를 보였다. 디메틸아민 발생량에서 또한 대체적으로 교반 전에 비해 교반 후에 세 개 처리구에서 더욱 저감된 효과가 나타났다( $p < 0.001$ ; Table 8). Lee et al. [24]에 따르면 양돈장의 슬러리 pH가 높을수록 많은 양의 암모니아 가스가 발생하였다고 보고했는데, 이로 미루어 볼 때 돈사 분무 실험과 마찬가지로 폴빅산이 퇴비장의 분뇨 내 pH를 낮추어 암모니아 휘발을 저감하는 데 기여했을 것이라고 짐작할 수 있다.

퇴비화 시설에서 폴빅산 첨가에 의한 악취 저감 효과를 조사하기 위해 인위적인 뒤집기 과정에서 퇴비 자체 발효 및 열에 의하여 발생하는 암모니아 발생량을 측정하였다. 폴빅산 분무 30분 후 암모니아 농도는 급격히 줄어들었으나, 3시간 경과 후 암모니아 농도는 다시 증가하였다 (Table 9). 발효조 내에서 작동하는 교반기가 발생시키는 열과 퇴비화 단계에서 추가적으로 발생하는 열이 미생물 발효를 촉진시켜 악취가 증가하는 것으로 판단하였는데, 이는 퇴비 부숙도가

**Table 5.** Effects of probiotics, probiotics + fulvic acid, and fulvic acid at 1 litter per ton of compost on reduction of complex odors of compost before and after incubating<sup>1)</sup>

Item	Before incubating			After incubating			SEM	p-value
	Probiotics	Probiotics + fulvic acid	Fulvic acid	Probiotics	Probiotics + fulvic acid	Fulvic acid		
1 <sup>st</sup>	145	65	35	48	27	10	-	-
2 <sup>nd</sup>	98	57	41	36	23	9	-	-
3 <sup>rd</sup>	105	78	54	41	20	7	-	-
4 <sup>th</sup>	58	25	12	24	19	8	-	-
5 <sup>th</sup>	45	29	19	32	14	7	-	-
6 <sup>th</sup>	47	31	7	26	10	4	-	-
7 <sup>th</sup>	39	27	10	19	9	3	-	-
8 <sup>th</sup>	28	21	6	11	16	0	-	-
Mean	71 <sup>a</sup>	42 <sup>b</sup>	23 <sup>bcd</sup>	30 <sup>bc</sup>	17 <sup>cd</sup>	6 <sup>d</sup>	5	< 0.001

<sup>1)</sup>The probiotics and fulvic acid products were diluted to 0.1% using water. A complex odor sensor was used to measure the complex odors.

<sup>a-d</sup>Within a column means without a common superscript differ ( $p < 0.05$ ).

**Table 6.** Effects of probiotics, probiotics + fulvic acid, and fulvic acid at 1 liter per ton of compost on complex odors of compost before and after incubating based on direct sensory method (odor intensity method)<sup>1)</sup>

Item	Before incubating			After incubating			SEM	<i>p</i> -value
	Probiotics	Probiotics + fulvic acid	Fulvic acid	Probiotics	Probiotics + fulvic acid	Fulvic acid		
1 <sup>st</sup>	5.0	4.0	3.0	3.0	2.0	1.2	–	–
2 <sup>nd</sup>	4.0	3.5	3.0	3.5	2.5	1.5	–	–
3 <sup>rd</sup>	5.0	4.0	3.0	3.0	1.5	1.5	–	–
4 <sup>th</sup>	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	1.5	–	–
5 <sup>th</sup>	3.0	2.5	2.5	3.0	2.5	1.0	–	–
6 <sup>th</sup>	3.5	3.0	3.0	3.0	2.0	1.5	–	–
7 <sup>th</sup>	3.5	3.0	2.5	3.0	2.5	1.5	–	–
8 <sup>th</sup>	3.0	2.5	3.0	2.5	2.0	2.0	–	–
Mean	3.8 <sup>a</sup>	3.2 <sup>ab</sup>	2.8 <sup>b</sup>	2.9 <sup>b</sup>	2.1 <sup>c</sup>	1.5 <sup>c</sup>	0.2	< 0.001

<sup>1)</sup>The probiotics and fulvic acid products were diluted to 0.1% using water.

<sup>a-c)</sup>Within a column means without a common superscript differ ( $p < 0.05$ ).

**Table 7.** Effects of probiotics, probiotics + fulvic acid, and fulvic acid at 1 liter per ton of compost on ammonia production of compost before and after incubating<sup>1)</sup>

Item	Before incubating			After incubating			SEM	<i>p</i> -value
	Probiotics	Probiotics + fulvic acid	Fulvic acid	Probiotics	Probiotics + fulvic acid	Fulvic acid		
1 <sup>st</sup>	57	32	17	10	8	3	–	–
2 <sup>nd</sup>	69	47	24	8	6	4	–	–
3 <sup>rd</sup>	75	36	17	10	7	3	–	–
4 <sup>th</sup>	65	43	12	7	5	3	–	–
5 <sup>th</sup>	54	29	9	9	6	2	–	–
6 <sup>th</sup>	43	21	10	8	8	4	–	–
7 <sup>th</sup>	37	19	7	6	4	2	–	–
8 <sup>th</sup>	32	19	8	5	3	1	–	–
Mean	54 <sup>a</sup>	31 <sup>b</sup>	13 <sup>c</sup>	8 <sup>cd</sup>	6 <sup>cd</sup>	3 <sup>d</sup>	2	< 0.001

<sup>1)</sup>The probiotics and fulvic acid products were diluted to 0.1% using water. A complex odor sensor was used to measure the ammonia production.

<sup>a-c)</sup>Within a column means without a common superscript differ ( $p < 0.05$ ).

투입된 분의 생물화학적 산소요구량 수준이나 습도에 따라 달라질 수 있으며, 운전되고 있는 교반기 내 온도 등의 환경이 퇴비의 부숙 기전에 많은 영향을 미치기 때문이라는 이전 연구의 보고에 근거한 것이었다[25].

폴빅산 분무에 따른 퇴비화 시설의 온도 변화를 관찰한 결과, 폴빅산을 분무하지 않은 퇴비화 시설의 경우 1차 발효가 완성되는 온도인 40°C에 이르기까지 15일의 시간이 소요된 반면, 폴빅산을 분무한 퇴비사의 경우 7일이 소요되었다. Lee et al.[26]에 따르면 퇴비 발효 약 10일 동안 온도 상승 기울기가 크게 나타났으며, 이후 4주 차까지 60°C–65°C의 온도가 유지되었다고 보고 하였다. 본 실험에서 폴빅산을 처리한 퇴비화 시설의 최고온도는 71°C로 나타났는데, 이는 대조

**Table 8.** Effects of probiotics, probiotics + fulvic acid, and fulvic acid at 1 litter per ton of compost on dimethylamine production of compost before and after incubating<sup>1)</sup>

Item	Before incubating			After incubating			SEM	p-value
	Probiotics	Probiotics + fulvic acid	Fulvic acid	Probiotics	Probiotics + fulvic acid	Fulvic acid		
1 <sup>st</sup>	170	92	57	8	39	19	-	-
2 <sup>nd</sup>	135	98	46	10	34	17	-	-
3 <sup>rd</sup>	154	110	48	11	30	13	-	-
4 <sup>th</sup>	45	46	10	6	15	12	-	-
5 <sup>th</sup>	84	52	21	3	21	14	-	-
6 <sup>th</sup>	92	48	19	5	32	19	-	-
7 <sup>th</sup>	53	26	13	0	18	9	-	-
8 <sup>th</sup>	42	13	8	2	16	5	-	-
Mean	97 <sup>a</sup>	61 <sup>b</sup>	28 <sup>c</sup>	6 <sup>c</sup>	26 <sup>c</sup>	14 <sup>c</sup>	7	< 0.001

<sup>1)</sup>The probiotics and fulvic acid products were diluted to 0.1% using water. A complex odor sensor was used to measure the dimethylamine production.  
<sup>a-c)</sup>Within a column means without a common superscript differ ( $p < 0.05$ ).

**Table 9.** Effects of spraying fulvic acid (0.1%) at 1 litter per ton of compost on the changes of ammonia production over time in mechanical agitated composting facility

Item	After incubation			
	Immediately	30 minutes	2 hours	3 hours
1 <sup>st</sup>	120	35	41	65
2 <sup>nd</sup>	105	43	48	60
3 <sup>rd</sup>	89	52	57	63
4 <sup>th</sup>	75	35	46	57
5 <sup>th</sup>	46	27	52	48
6 <sup>th</sup>	37	25	46	51
7 <sup>th</sup>	32	21	38	39

구보다 8°C 더 높은 온도였으며, Lee et al.[26]의 연구에서 보고했던 퇴비 발효 최고온도인 65°C 보다 6°C도 더 높은 온도였다. 폴빅산을 분무한 퇴비화 시설에서는 퇴비화가 지속되는 동안 온도가 빠르게 상승하는 동시에 최고온도 또한 상승하여 퇴비화 부숙 기간이 단축될 수 있을 것으로 판단된다. 발효 기간 중 온도의 변화는 미생물 분해과정에서 발생하는 것으로 발효 진행을 확인할 수 있는 매우 중요한 지표인데, 폴빅산이 함유된 피트모스를 계분 발효 실험에 이용한 연구에 따르면, 피트모스의 수력이 높고 양이온 치환용량이 톱밥보다 높아 미생물이 서식하기 좋은 환경이므로 퇴비 부숙 및 온도 상승에 영향을 미쳤을 것이라고 보고하였다[14]. 퇴비장 내 폴빅산 분무에 따른 악취 발생량의 변화를 GC/FID를 이용하여 측정된 결과, 프로피온산, 뷰티르산, I-발레르산, n-발레르산 및 휘발성 유기화합물 발생량을 종합했을 때 유의미한 차이가 나타나지 않았지만, 수치상에서 발생량의 감소를 보였다. 또한, 악취발생량 산출 공식[19]을 통해 계산한 결과, 폴빅산 분무가 분뇨에서 발생하는 암모니아, 프로피온산, 뷰티르산, I-발레르산, n-발레르산 및 휘발성 유기화합물을 종합했을 때 효과적으로 저감하는 것으로 나타났다( $p <$

0.001; Table 10).

본 실험의 결과를 종합해 볼 때, 풀빅산이 돈사 및 퇴비사에서 발생하는 암모니아 저감에 유용하게 활용 가능할 것으로 판단하였다. 풀빅산의 악취 저감에 대한 추가적인 검증 및 그 기전에 관한 지속적인 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

## 결론

본 연구의 목적은 풀빅산의 돈사에 분무 및 음수 투여와 퇴비사 분무가 양돈장 악취 저감에 미치는 영향을 조사하는 것이었다. 자돈사 분무용 및 육성사 음수 투여용 풀빅산은 0.02%, 퇴비사 분무용 풀빅산은 0.1%로 제조하여 사용하였으며, 대조구에는 풀빅산을 분무 혹은 투여하지 않았다. 자돈사 풀빅산 분무는 주2회 실시하였으며, 분무시 돈방당 1 L씩 분무하였다. 음수 투여는 풀빅산(0.02%)을 육성사에 4주간 투여하였다. 퇴비사 분무는 80 L의 혼합 퇴비를 담은 100 L 플라스틱 통 각각에 크린폰하이산 0.08 L, 크린폰하이산 0.04 L + 풀빅산 0.04 L 및 풀빅산 0.08 L(일반 미생물 첨가 수준인 1톤당 1 L)를 분무하였다. 또한 기계 교반식 퇴비화 시설에 풀빅산을 분무하여 퇴비 부속도를 평가하였다. 자돈사 분무 실험 결과, 풀빅산을 분무하지 않은 대조구에 비해 풀빅산을 분무한 실험구에서 더 낮은 암모니아가 발생하였다( $p < 0.001$ ). 육성돈에 풀빅산을 음수 투여한 결과, 암모니아 및 황화수소 발생 저감 효과는 나타나지 않았다. 퇴비사 분무 실험 결과, 세 개 처리구 모두 교반 전에 비해 교반 후에 악취 저감 효과가 나타났으나( $p$

**Table 10.** Effects of spraying fulvic acid on reduction of malodor in composts based on measuring and calculating values

Item	Control	Fulvic acid	SEM	$p$ -value
Measuring <sup>1)</sup>				
Ammonia	126.3	107.2	-	-
Propionic acid	0.9	0.4	-	-
Butyric acid	0.7	0.6	-	-
I-Valeric acid	0.1	0.0	-	-
n-Valeric acid	0.1	0.0	-	-
Volatile organic compounds	2.6	1.5	-	-
Direct sensory method	5.7	3.7	-	-
Mean	19.5	16.2	1.9	0.265
Calculating <sup>2)</sup>				
Ammonia	5.4	3.8	-	-
Propionic acid	7.9	3.1	-	-
Butyric acid	5.7	3.8	-	-
I-Valeric acid	4.5	3.0	-	-
n-Valeric acid	6.5	3.8	-	-
Volatile organic compounds	8.3	3.6	-	-
Direct sensory method	5.4	2.7	-	-
Mean	6.3	3.3	0.4	0.001

<sup>1)</sup>The odors were measured by using gas chromatography with flame ionization detector.

<sup>2)</sup>The equations for the odors production were suggested by Nagata & Takeuchi (2003) [19].

< 0.001), 수치상으로 폴빅산을 처리한 실험구에서 악취저감 효과가 가장 크게 나타났다. 폴빅산을 첨가하지 않은 퇴비화 시설의 온도와 폴빅산을 첨가한 퇴비화 시설의 온도를 측정된 결과, 퇴비 1차 발효가 완성되는 40℃까지 올라가는 기간에서 약 7일 정도 차이가 났으며, 이는 퇴비 발효 시간의 감소를 의미하는 것으로 짐작된다. 결론적으로, 폴빅산을 돈사에 분무할 경우 악취를 저감하는 효과를 보였으며, 퇴비사에 분무할 경우 퇴비 발효 시간을 감소시키고 악취를 저감 효과를 보였다.

## REFERENCES

1. Ni JQ, Robarge WP, Xiao C, Heber AJ. Volatile organic compounds at swine facilities: a critical review. *Chemosphere*. 2012;89:769-88. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.04.061>
2. Curtis SE. Environmental management in animal agriculture. *Trop Anim Health Prod*. 1985;17:152. <https://doi.org/10.1007/BF02355874>
3. Yasuhara A, Fuwa K, Jimbu M. Identification of odorous compounds in fresh and rotten swine manure. *Agric Biol Chem*. 1984;48:3001-10. <https://doi.org/10.1080/00021369.1984.10866622>
4. Jeon JG, Choi HL, Lee IB, Kim KW, Ok HJ. Quantifying and understanding the route of airborne contaminants in a windowless pig house. *J Indoor Environ Odor Soc*. 2004;3:160-5.
5. Zhu J. A review of microbiology in swine manure odor control. *Agric Ecosyst Environ*. 2000;78:93-106. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00116-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00116-4)
6. Russell EG. Types and distribution of anaerobic bacteria in the large intestine of pigs. *Appl Environ Microbiol*. 1979;37:187-93. <https://doi.org/10.1128/aem.37.2.187-193.1979>
7. Han WS, Chang DI, Bahng SH, Lee SJ. Development of biofilter system for reducing odor from livestock facilities: odor reducing characteristics of bed materials. *J Biosyst Eng*. 2004;29:151-8. <https://doi.org/10.5307/JBE.2004.29.2.151>
8. Faith WL. Odor control in cattle feed yards. *J Air Pollut Control Assoc*. 1964;14:459-60. <https://doi.org/10.1080/00022470.1964.10468314>
9. Tofant A, Vučemilo M, Pavičić Ž, Milić D. The hydrogen peroxide, as a potentially useful slurry disinfectant. *Livest Sci*. 2006;102:243-7. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.03.022>
10. Wu JJ, Park S, Hengemuehle SM, Yokoyama MT, Person HL, Masten SJ. The effect of storage and ozonation on the physical, chemical, and biological characteristics of swine manure slurries. *Ozone Sci Eng*. 1998;20:35-50. <https://doi.org/10.1080/01919519808547289>
11. Kim KY, Choi HL, Ko HJ, Lee YG, Kim CN. Evaluation of odor reduction in the enclosed pig building through spraying biological additives. *J Anim Sci Technol*. 2006;48:467-78. <https://doi.org/10.5187/JAST.2006.48.3.467>
12. Won YS. Biotreatment technologies for air pollution control. *Clean Technol*. 2007;13:1-15.
13. Hong J. Composting agricultural waste. *J Korean Soc Agric Mach*. 2001;26:67-73.
14. Kim YS, Lee TS, Cho SH, Jeong JY, An JY, Lee JJ, et al. Plant growth responses and characteristics of composting of poultry manure with peatmoss and cocopeat as bulking agent. *J Korea Org Resour Recycl Assoc*. 2017;25:79-86. <https://doi.org/10.17137/korrae.2017.25.1.79>
15. Sacomori W, Cassol PC, Mafra MSH, Erdemann LF, de Almeida JA. Accumulation of humic substances in an Oxisol fertilized with pig slurry for 15 years. *Rev Bras Eng Agric Ambient*. 2021;25:109-15. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n2p109-115>
16. Linnik P, Ivanechko YS, Linnik RP, Zhezherya VA. Humic substances in surface waters of the Ukraine. *Russ J Gen Chem*. 2013;83:2715-30. <https://doi.org/10.1134/S1070363213130185>
17. Zhang L, Wang Y, Soda S, He X, Hao S, You Y, et al. Effect of fulvic acid on bioreactor

- performance and on microbial populations within the anammox process. *Bioresour Technol.* 2020;318:124094. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124094>
18. Wang M, Zheng Y, Li Q, Qi Y, Liao X, Fu Q. The efficiency adsorption of ammonia nitrogen, phosphate and basic blue 3 by fulvic acid decorated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic nanocomposites. *Pol J Environ Stud.* 2021;30:3299-305. <https://doi.org/10.15244/pjoes/130363>
  19. Nagata Y, Takeuchi N. Measurement of odor threshold by triangle odor bag method. In: Iwasaki Y, editor. *Odor measurement review.* Tokyo: Japan Ministry of the Environment; 2003. p. 118-27.
  20. Kim J, Hong B, Lee MJ, Kim BGG. A minimum amount of hydrochloric acid for pig urine collection to inhibit nitrogen volatilization. *J Anim Sci.* 2021;99:278-9.
  21. Knowlton KF, McGilliard ML, Zhao Z, Hall KG, Mims W, Hanigan MD. Effective nitrogen preservation during urine collection from Holstein heifers fed diets with high or low protein content. *J Dairy Sci.* 2010;93:323-9. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2600>
  22. Susilawati K, Osumanu HA, Nik M, Mohd KY, Mohamadu BJ. Reduction of ammonia loss by mixing urea with liquid humic and fulvic acids isolated from tropical peat soil. *Am J Agric Biol Sci.* 2009;4:18-23. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2009.18.23>
  23. Gao Y, He J, He Z, Li Z, Zhao B, Mu Y, et al. Effects of fulvic acid on growth performance and intestinal health of juvenile loach *Paramisgurnus dabryanus* (Sauvage). *Fish Shellfish Immunol.* 2017;62:47-56. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.01.008>
  24. Lee SH, Yun NK, Kim KW, Lee IB, Kim TI, Chang JT. Study on ammonia emission characteristic of pig slurry. *J Anim Environ Sci.* 2006;12:7-12.
  25. Kwag JH, Choi DY, Park CH, Jeong KH, Kim JH, Yoo YH, et al. Investigation on characteristics of swine manure of optimum volume for escalator reversing composting facility. *J Anim Environ Sci.* 2008;14:105-12.
  26. Lee SH, Jeong GH, Lee DJ, Lee DH, Jang Y, Kwag JH. Composting characteristics with swine manure composting time. In: *Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery Conference; 2019; Chuncheon, Korea.*