

양돈 슬러리에 첨가된 악취저감물질 수준별 휘발성 지방산과 휘발성 유기화합물 농도 비교

황옥화 · 양승학 · 전중환 · 김중곤 · 최동윤 · 조성백*

농촌진흥청 국립축산과학원

The Effect of the Addition Levels of Odor Reducing Contents on the Concentration of Volatile Fatty Acid and Volatile Organic Compound in Pig Slurry

Ok-Hwa Hwang, Seung-Hak Yang, Jung-Hwan Jeon, Jung-Kon Kim, Dong-Yun Choi, Sung-Back Cho*

National Institute of Animal Science, RDA. Suwon 441-706, Korea

ABSTRACT

This study was to investigate the effect of addition levels of odor reducing contents on reducing the concentration of odorous compounds. Slurry treatments included three levels mixture of horseradish powder (HP), mushroom waste (MW) and probiotics powder (PP), and non-treatment control (n=4 each group). Levels of odorous compounds were measured from the liquid slurry incubated in room temperature (20~25°C) for 2 wk in chamber whose structure is similar to slurry pit. Concentration of phenols and indoles was lower (p<0.05) in level 1, which was mixed HP 0.01%, MW 0.4% and PP 0.004% (98.69, 1.87 ppm) compared to control. Short chain fatty acid (SCFA) and branched chain fatty acid (BCFA) was lowest (p<0.05) level 1 (6,557, 1675 ppm). Taken together, lower level are effective in reducing odorous compounds in pig slurry.

(Key words : Swine slurry, Odor, Odor reducing contents, Volatile organic compound, Volatile fatty acid)

서론

양돈시설에서 발생하는 악취민원이 축산악취 민원의 50% 정도를 차지하고 있다(MEV, 2006). 돈사에서 발생하는 악취는 돼지에 급여한 사료의 영양소가 배설되어 생성되는데, 주요 악취물질은 volatile fatty acid (VFA), 페

놀, p-크레졸, 인돌, 스카톨 등이다(Williams and Evans, 1981).

분뇨의 미생물은 성장과 활동을 위해 단백질과 발효탄수화물을 이용하는데(Gibson and Roberfroid, 1995), 발효탄수화물의 양이 적거나 발효탄수화물에 비하여 단백질이 상대적으로 많으면 미생물은 에너지원으로 단백질을

*Corresponding author : Sung-Back Cho, Animal Environment Division, National Institute of Animal Science, RDA, Suwon 441-706, Korea. Tel : +82-31-290-1712, E-mail : csb652@korea.kr
2013년 11월 10일 투고, 2013년 12월 12일 심사완료, 2013년 12월 16일 게재확정

을 사용하기 때문에, 악취물질이 많이 생성될 수 있다(Reid and Hillman, 1999; Sutton et al., 1999). 저장된 분뇨는 사료에 첨가된 발효탄수화물에 따라 질소 휘산이 다를 수 있다(Kreuzer et al., 1998). 비전분태 다당류를 보충한 사료를 돼지에게 급여하면 대장에서 발효가 일어나 휘발성지방산이 증가하여(Canh et al., 1996), 분뇨의 pH가 낮아지게 되고 암모니아 휘산이 감소된다(Sommer et al., 1991). 이런 결과는 분뇨에 함유된 탄수화물의 특성에 따라 분뇨에서 휘산되는 악취물질 양이 다를 수 있다는 것을 뜻한다. DeCamp et al. (2001)은 10%의 대두피를 첨가한 사료를 먹은 돼지의 분뇨와 대두피를 첨가하지 않은 사료를 섭취한 돼지의 분뇨를 6주간 저장하였을 때 대두피를 포함하는 사료를 섭취한 돼지의 분뇨에서 총 VFA 농도가 32% 증가하였으며, 상층 가스에서는 암모니아, 황화수소 및 악취농도가 각각 20, 32, 11% 감소되었다고 하였다. Goa et al. (1999)은 섬유소를 보충한 사료를 먹은 돼지의 분에서 p-크레졸과 스키타롤의 발생량이 감소되었다고 하였다. 또한 비트펄프가 풍부한 사료를 돼지에 급여하였을 때, 분뇨로 배출되는 스키타롤과 인돌 농도가 낮았다고 하였다(Knarreborg et al., 2002). 또한 저항성 전분(300 g/kg)이 첨가된 비육돈 사료를 급여하였을 때, 분과 공기 중의 인돌 및 이성체지방산의 농도가 크게 감소하였다는 연구 결과도 있다(Willing et al., 2005). 양돈장의 악취를 줄이는데 있어 하나의 수단만을 이용하지 않고 악취를 저감하는 미생물, 미생물의 기질 그리고 악취를 발생시키는 미생물을 제어하는 물질 등이 혼합되면 악취저감 효율이 높아질 수 있을 것이다. 고추냉이 뿌리에는 peroxidase라는 효소가 있는데, 이것이 페놀류를 산화시켜 독성과 냄새를 줄인다고 한다(Klibanov et al., 1983). 팽

이버섯폐배지에는 콘코브, 밀기울 등의 사료 원료가 많이 포함되어 있으며 조섬유 함량이 13.7% 정도로 높으며(Jung et al., 2006), 버섯균은 다당류를 단당류로 분해하기 때문에(Kim, 1993), 장내 미생물에 의한 질소 소비가 감소하여 질소유래 악취물질의 발생량이 감소될 수 있을 것이다.

본 연구는 양돈 농장에서 발생하는 악취를 줄이기 위하여 고추냉이 분말, 팽이버섯폐배지 및 생균제를 각각 3수준으로 혼합하여 양돈 슬러리에 첨가하였을 때 악취물질의 감소 정도를 분석하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

1. 시험설계 및 분뇨 배양

돼지의 영양소 요구량이 충족되도록 배합한 사료를 체중 80~110 kg 돼지에게 급여한 후 배설된 슬러리를 채취하여 돈사 피트모형의 20 L 아크릴 반응조에 15 L씩 채워서 시험조건을 일정하게 하였다(NIAS, 2012). 반응조의 슬러리 양을 기준으로 고추냉이 가루, 팽이버섯폐배지 및 생균제(Lactobacillus licheniformis)를 각각 1수준(0.01, 0.4, 0.004%), 2수준(0.02, 0.7, 0.007%), 3수준(0.03, 0.1, 0.01%) 첨가한 시험구와 무처리구(대조구)로 구성된 4처리로 시험을 설계하였으며, 처리구당 4반복으로 하였다(Table 1). 처리된 슬러리를 상온(20~25°C)에서 2주간 배양하여 액상시료를 채취한 다음 volatile organic compound (VOC), VFA 및 암모니아태 질소(NH₄⁺-N) 농도를 측정하였다. 본시험에서 양돈 슬러리에 첨가된 고추냉이 가루와 팽이버섯폐배지의 첨가수준은 Cho et al. (2013)의 연구결과를 근거로 하였으며, 생균제의 첨가수준은 시군 농업기술센터에서 사용하고 있

Table 1. Composition of odor reducing content mixture.

	Odor reducing content mixture levels			
	Control	Level 1	Level 2	Level 3
Horseradish powder [†] (%)	—	0.010	0.020	0.030
Mushroom waste [‡] (%)	—	0.400	0.700	1.000
Probiotics powder [§] (%)	—	0.004	0.007	0.010

[†] Horseradish powder with 3% hydrogen peroxide solution (sigma-aldrich).

[‡] Mushroom waste : *Flammulium velutipes* mushroom.

[§] Probiotics powder : *Lactobacillus licheniformis*.

는 자료 (unpublished data)를 참고로 하였다.

2. 악취물질 분석

VFA를 분석하기 위한 시료는 25% 인산용액을 이용하여 전처리한 후 준비되었고, VOC 분석용 시료는 Jensen et al. (1995)의 방법에 따라 준비한 후 Gas Chromatography (6890N, Agilent, USA)를 이용하여 분석되었다. Inlet과 detector의 온도는 250℃로 하였고, Split ratio는 VFA 10:1과 VOC 5:1로 설정하였다. column은 직경 0.25 mm, 길이 30 m의 HP-INNOWax와 DB-1을 각각 사용하였다. 검출기는 두 물질 모두 Flame Ionization Detector (FID)를 이용하였다. NH₄⁺-N은 시료 내 암모니아를 황산용액에 흡수시키고 수산화나트륨 용액으로 적정하는 중화적정법으로 전처리하고 킬달질소분해장치 (1035 Analysis, Foss, Denmark)를 이용하여 분석되었다.

3. 통계처리

모든 실험은 각각 4반복으로 실험을 하였으며, 실험결과에 대한 통계분석은 SAS (Statistical Analysis System, 1996) package GLM (General Linear Model)을 이용하여 분

산분석을 실시하였고, 평균간 차이는 Duncan (1955)의 다중검정법에 의해 95% 유의수준으로 분석되었다.

결과 및 고찰

1. 슬러리의 VFA 농도 변화

양돈 슬러리를 2주 간 배양한 후 반응조에서 슬러리를 채취하여 VFA의 농도를 분석한 결과는 Table 2와 같다. SCFA의 농도는 대조구, 수준 1, 수준 2, 수준 3 처리구에서 각각 7,408, 6,557, 9,052, 7,940 ppm으로 수준 2에서 가장 높았으며, 수준 1에서 가장 낮았는데 (p<0.05), 대조구보다 낮은 처리구는 수준 1 이었다 (p<0.05). BCFA의 농도는 대조구, 수준 1, 수준 2, 수준 3 처리구에서 각각 1,925, 1,675, 2,310, 1,919 ppm으로 SCFA와 동일한 결과를 보였다 (p<0.05). 처리구별 VFA 농도를 비교하면 수준 1 처리구에서만 대조구에 비하여 SCFA와 BCFA 농도가 낮았다 (p<0.05). 팽이버섯폐배지 (NDF 75.0%, NFC 6.9%)에는 발효 탄수화물이 많이 포함되어 있기 때문에 (Getachew et al., 2004; Kim et al., 2007), 탄수화물 발효가 활발하여 분뇨에서 VFA 농도가 감소하지는 않을 것으로 추

Table 2. Effect of addition levels of odor reducing content mixture on the VFA concentration from slurry of pigs.[†]

VFA	Odor reducing content mixture levels				SEM
	Control	Level 1 [‡]	Level 2 [‡]	Level 3 [‡]	
Acetic acid	2,476 ^c	2,364 ^c	3,386 ^a	3,055 ^b	89.25
Propionic acid	4,905 ^b	4,150 ^c	5,583 ^a	4,759 ^b	121.40
Butyric acid	27 ^d	42 ^c	82 ^b	126 ^a	6.70
i-Butyric acid	724 ^{ab}	588 ^c	797 ^a	653 ^{bc}	18.27
i-Valeric acid	1,201 ^{bc}	1,087 ^c	1,513 ^a	1,266 ^b	34.86
SCFA [§]	7,408 ^b	6,557 ^c	9,052 ^a	7,940 ^b	206.97
BCFA [¶]	1,925 ^b	1,675 ^c	2,310 ^a	1,919 ^b	52.22

[†] Composition of pig diet : Protein 16.5%, DE 3,450 kcal/kg, Fiber 3.4%, Ca 0.8%, P 0.65%, Lysine 0.87%, Methionine 0.27%, Threonine 0.63%, Tryptophan 0.19%.

[‡] Composition of odor reducing contents mixture.

Level 1 = Horseradish powder 0.01% + Mushroom waste 0.4% + Probiotics powder 0.004%.

Level 2 = Horseradish powder 0.02% + Mushroom waste 0.7% + Probiotics powder 0.007%.

Level 3 = Horseradish powder 0.03% + Mushroom waste 1.0% + Probiotics powder 0.010%.

[§] SCFA = Acetic acid + Propionic acid + Butyric acid.

[¶] BCFA = i-Butyric acid + i-Valeric acid.

^{a, b, c, d} Figures with different superscripts within the same row are significantly different (p<0.05).

측된다. 실제로 Lee et al. (2012a)은 고추냉이 분말과 팽이버섯폐배지를 비육돈사료에 첨가하였을 때 슬러리에서 SCFA 및 BCFA 농도가 감소되지 않았다고 하였다 (p>0.05). 따라서 다른 처리구는 차이가 없으나 (p>0.05), 수준 1에서 차이가 있다는 것은 생균제의 효과로 추정된다.

2. 슬러리의 VOC 농도 변화

슬러리를 2주간 저장하였을 때 페놀류, 인돌류 및 NH₄⁺-N 농도는 Table 3과 같다. 페놀류 농도는 수준 1 처리구에서 98.69 ppm으로 가장 낮았고 (p<0.05), 다른 처리구간에는 유의적인 차이가 없었다 (p>0.05). Lee et al.

(2012b)은 비육돈사료에 고추냉이 분말을 0.02% 이하로 첨가하였을 때 슬러리에서 페놀류 농도가 감소하였으나 (p<0.05), 0.03% 이상으로 첨가하면 효과가 없었다고 하였는데 이것과 일치한다 (p>0.05). 인돌류 농도는 대조구, 수준 1, 수준 2, 수준 3 처리구에서 각각 2.42, 1.87, 2.20, 1.91 ppm으로 수준 1과 수준 3 처리구에서 가장 낮았고 (p<0.05), 대조구에서 가장 높았다 (p<0.05). 이런 결과는 고추냉이와 팽이버섯폐배지를 사료에 첨가할 때 단용으로 사용하는 것보다 이들을 혼합하였을 때 슬러리의 인돌류 농도가 더 많이 감소하였다는 연구결과 (Lee et al., 2012a)와 일치한다. NH₄⁺-N의 농도의 경우 처리구간에 유의적인 차이는 없었지만 대조구에 비해 약취저

Table 3. Effect of addition levels of odor reducing content mixture on the VOC and NH₄⁺-N from slurry of pigs.[†]

VOC	Odor reducing content mixture levels				SEM
	Control	Level 1 [‡]	Level 2 [‡]	Level 3 [‡]	
Phenol	2.42 ^a	1.93 ^b	2.61 ^a	2.46 ^a	0.07
p-Cresol	111.83 ^a	96.76 ^b	119.81 ^a	110.36 ^a	2.18
Indole	0.72	0.65	0.69	0.63	0.02
Skatole	1.70 ^a	1.21 ^c	1.52 ^b	1.28 ^c	0.04
Phenols [§]	114.26 ^a	98.69 ^b	122.42 ^a	112.82 ^a	2.24
Indoles [¶]	2.42 ^a	1.87 ^c	2.20 ^b	1.91 ^c	0.05
NH ₄ ⁺ -N	767	757	758	733	7.21

[†] Composition of pig diet : Protein 16.5%, DE 3,450 kcal/kg, Fiber 3.4%, Ca 0.8%, P 0.65%, Lysine 0.87%, Methionine 0.27%, Threonine 0.63%, Tryptophan 0.19%.

[‡] Composition of odor reducing contents mixture.

Level 1 = Horseradish powder 0.01% + Mushroom waste 0.4% + Probiotics powder 0.004%.

Level 2 = Horseradish powder 0.02% + Mushroom waste 0.7% + Probiotics powder 0.007%.

Level 3 = Horseradish powder 0.03% + Mushroom waste 1.0% + Probiotics powder 0.010%.

[§] Phenols = Phenol + p-Cresol.

[¶] Indoles = Indole + Skatole.

^{a, b, c, d} Figures with different superscripts within the same row are significantly different (p<0.05).

감물질 처리구가 낮은 경향을 보였다 (p>0.05).

결론

본 연구는 양돈 슬러리의 악취물질 감소에 효과가 있는 것으로 확인된 물질을 수준별로 혼합하여 슬러리에 첨가한 후 악취저감 효능을 비교하기 위해 수행되었다.

양돈 슬러리를 2주 간 배양한 후 슬러리를 채취하여 VFA 농도를 분석하였다. SCFA의 농도는 대조구, 수준 1, 수준 2, 수준 3 처리구에서 각각 7,408, 6,557, 9,052, 7,940 ppm으로 대조구보다 수준 1이 낮았다 (p<0.05). BCFA의 농도는 대조구, 수준 1, 수준 2, 수

준 3 처리구에서 각각 1,925, 1,675, 2,310, 1,919 ppm으로 SCFA와 동일한 결과를 보였다 (p<0.05). 처리구별 VFA 농도는 수준 1 처리구에서만 대조구에 비하여 낮았다 (p<0.05). 팽이버섯폐배지 (NDF 75.0%, NFC 6.9%)에는 발효 탄수화물이 많이 포함되어 있어 탄수화물 발효가 활발하여 슬러리의 VFA 농도가 감소하지는 않았을 것으로 추측된다. 따라서 수준 1에서 VFA 농도가 낮은 것은 생균제의 효과일 것으로 추정된다.

페놀류 농도는 수준 1 처리구에서 98.69 ppm으로 가장 낮았고 (p<0.05), 다른 처리구 간에는 유의적인 차이가 없었다 (p>0.05). 인돌류 농도는 대조구, 수준 1, 수준 2, 수준 3 처리구에서 2.42, 1.87, 2.20, 1.91 ppm으로 수

준 1과 수준 3에서 가장 낮았고 ($p < 0.05$), 대조구에서 가장 높았다 ($p < 0.05$). 고추냉이와 팽이버섯폐배지를 단용으로 사용하는 것보다 이들을 혼합하여 슬러리에 처리하였을 때 인 들류가 더 많이 감소하였다. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 농도는 처리구간에 유의적인 차이는 없었지만 대조구에 비해 악취저감 물질 처리구가 낮은 경향을 보였다 ($p > 0.05$).

본 연구결과를 종합하면, 고추냉이 분말, 팽이버섯폐배지 및 생균제를 혼합하여 슬러리에 넣었을 때 미생물과 미생물 기질의 상호작용에 의해 악취가 감소되는 것으로 평가되었다. 그리고 이들 혼합제의 첨가수준에 따라 슬러리의 악취물질 농도에 차이가 있다는 것이 밝혀졌다. 따라서 향후 돼지 슬러리의 오염물질 농도에 따른 악취저감제 첨가수준을 결정하는 연구가 더 많이 수행되어야 할 것이며, 양돈 슬러리의 악취물질 농도와 돈사 내 공기로 휘산된 농도를 비교하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ907110032013)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

1. Canh, T.T., Aarnink, A.J.A., Bakker, G.C.M., Verstegen, M.W.A., 1996. Effect of dietary fermentable carbohydrates on the pH of and the ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 74, 191.
2. Cheong, J.C., Jhune, C.S., Kim, S.H., Jang, K.Y., Park, J.S., Na, J.C., Chun, M.H., 2006. Effect of the adding of *Flammulina velutipes* cultivation media wastes into chicken feed on the meat quality and production cost of broiler. *Kor. J. Mycol.* 34(1), 29-33.
3. Cho, S.B., Hwang, O.K., Lee, J.Y., Kim J.K., Choi, D.Y., Park S.K., 2013. Effects of Horseradish, spent mushroom compost and almond hull on odorous compound concentration of pig slurry for recycling ing grassland. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science.* 33(40), 252-256.
4. DeCamp, S.A., Hill, B.E., Hankins, S.L., Bundy, D.C., Powers, W.J., 2001. Effects of soybean hulls in commercial diet on pig performance, manure composition, and selected air quality parameters in swine facilities. *J. Anim. Sci.* 79, 250.
5. Duncan, D.B., 1955. Multiple range and multiple F test. *Biometrics.* 11, 1-42.
6. Getachew, G., Robinson, P.H., DePeters, E.J., Taylor, S.J. 2004. Relationships between chemical composition, dry matter degradation and *in vitro* gas production of several ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology.* 111, 57-71.
7. Gibson, G.R., Roberfroid, M.B., 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota introducing the concept of prebiotics. *J. Nutr.* 125, 1401-1412.
8. Goa, Y., Rideout, T., Lackeyram, D., Archbold, T., Fan, M.Z., Squires, E.J., Duns C.F.M. de Lange, G., Smith, T.K., 1999. Manipulation of hindgut fermentation to reduce the excretion of selected odor-causing compounds in pigs. In: *Proceedings*

- of Canadian Pork Council: Symposium of The Hog Environmental Management Strategy, Ontario, Canada, 24-29.
9. Jensen, M.T., Cox, R.P., Jensen, B.B., 1995. 3-Methylindole (skatole) and indole production by mixed populations of pig fecal bacteria. *Appl. and Environ. Microbiol.* 61(8), 3180-3184.
 10. Kim, H.J., 1993. Studies on the butt-rot disease of Japanese larch caused by *sparassis crispa*, *phaeolus schweinitzii* and *laetiporus sulphureus*. Ph.D. Thesis, University of Kangwon, Korea.
 11. Kim, Y.I., Bae, J.S., Jung, S.H., Ahn, M.H., Kwak, W.S., 2007. Yield and physicochemical characteristics of spent mushroom (*Pleurotus ryngii*, *Pleurotus osteratus* and *Ammulina velutipes*) substrates according to mushroom species and cultivation types. *Korea Journal of Animal Science and Technology.* 49(1), 79-88.
 12. Klibanov, A.M., Tu, T.N. and Schott, K.P., 1983. Peroxidase catalyzed removal of phenols from coal conversion waste waters. *Science.* 221:259-261.
 13. Knarreborg, A., Beck, J., Jensen, M.T., Laue, A., Agergaard, N., Jensen, B.B., 2002. Effects of non-starch polysaccharides on production and absorption of indolic compounds in entire male pigs. *Anim. Sci.* 74, 445-453.
 14. Kreuzer, M., MachmuÈller, A., Gerdemann, M.M., Hanneken, H., Wittmann, M., 1998. Reduction of gaseous nitrogen loss from pig manure using feeds rich in easily-fermentable non-starch polysaccharides. *Animal Feed Science and Technology.* 73: 1-19.
 15. Lee, K.H., Hwang, O.H., Yang, S.H., Park, K.H., Lee, J.Y., Jeun, B.S., Ohh, S.J., Lee, S.S., Yoo, Y.H., Cho, S.B., 2012a. The Effect of Horseradish Powder and Mushroom waste in Fattening Pig Diet on Odorous Compound Concentration from Slurry. *J. Anim. Environ. Sci.* 18 (suppl.), 35-40.
 16. Lee, K.H., Hwang, O.H., Park, K.H., Yang, S.H., Song, J.I., Jeon, J.H., Lee, J. Y., Ohh, S.J., Sung, H.G., Choi, D.Y., Cho, S.B., 2012b. The Effect of Horseradish Powder Level in Fattening Pig Diet on Odorous Compound Concentration from Manure. *J. Anim. Environ. Sci.* 18 (suppl.), 41-46.
 17. Ministry of Environment (MEV), 2006. MEV 2006 Business Report. MEV, Sejong, Korea.
 18. National Institute of Animal Science (NIAS), 2012. Korean Feeding Standard for Swine: Nutrient Requirement of Swine. NIAS, Suwon, Korea.
 19. Reid, C.A., Hillman, K., 1999. The effects of retrogradation and amylose/amylopectin ratio of starches on carbohydrate fermentation and microbial population in the porcine colon. *Anim. Sci.* 68(3), 503-510.
 20. SAS., 1996. SAS/STAT[®] software for PC. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
 21. Sommer, S.G., Olesen, J.E., Christensen, B.T., 1991. Effects of temperature, wind speed and air humidity on ammonia volatilization from surface applied cattle slurry. *J. Agric. Sci. Camb.* 117, 91-100.
 22. Sutton, A.L., Kephart, K.B., Versteegen,

- M.W., Canh, T.T., Hobbs, P.J., 1999. Potential for reduction of odorous compounds in swine manure through diet modification. *J. Anim. Sci.* 77, 430-439.
23. Williams, A.G., Evans, M.R., 1981. Storage of piggery slurry. *Agricultural Wastes.* 3, 11-321.
24. Willing, S., Losel, D., Claus, R., 2005. Effects of resistant potato starch on odor emission from feces in swine production units. *J. Agric. Food Chem.* 53, 1173-1178.