

ANIMAL

## Effect of horseradish, mushroom waste and almond hull on the concentrations of odorous compounds in swine manure for spreading on grassland in spring

Ok-Hwa Hwang, Deug-Woo Han, Sang-Ryoung Lee, Jeong-Hoon Kwag, Joung-Soo Lim, Sung-Back Cho\*  
National Institute of Animal Science, RDA, Wanju-Gun, Jeollabuk-Do 55365, Korea

\*Corresponding author: [csb652@korea.kr](mailto:csb652@korea.kr)

### Abstract

The objective of the current study was to investigate the effect of odor reducing agents on the levels of pH, total carbon, total nitrogen, and odorous compounds [phenols, indoles, short chain fatty acid (SCFA), branched-chain fatty acid (BCFA), and ammonium nitrogen] of swine manure during the spring season (temperature around 20°C). Odor reducing agents included horseradish powder, mushroom waste powder, and almond hull powder. A manure sample (15 L) was taken from the pit under the pens of a swine feeding operation and incubated with 0.03% horseradish powder, 1% mushroom waste powder, and 1% almond hull powder, respectively, in acryl chambers for 14 days. Addition of almond hull powder showed the lowest pH ( $p < 0.05$ ) and the highest level of total carbon ( $p < 0.05$ ) among treatments of odor reducing agents. Although addition of odor reducing agents increased the level of phenols ( $p < 0.05$ ), addition of almond hull powder decreased the level of indoles ( $p < 0.05$ ). Levels of SCFA and BCFA were higher in almond hull powder than those in control ( $p < 0.05$ ). Taken together, the results from our current study showed that odor reducing agents can be used for reducing the odor of swine manure by providing fermentable carbohydrates. At 20°C, however, the function of odor reducing agents might be decreased due to lower microbial activity.

**Keywords:** fertilizer, odor, spring, swine manure

### Introduction

가축의 조사료를 경작하는 초지에는 봄철 또는 가을철에 가축 분뇨를 이용하여 생산된 퇴비와 액비를 살포한다. 이때 퇴비와 액비에서 불쾌한 냄새가 발생되면 이용에 많은 제약이 있기 때문에 가축 분뇨에서 냄새가 발생되지 않도록 하는 것은 매우 중요하다. 특히 봄철은 외부 온도가 상승하는 계절이기 때문에 분뇨의 냄새 저감이 반드시 필요하다.

온도는 가축 분뇨에 서식하는 미생물의 성장에 영향을 주는데, 외부 온도가 높으면 미생물의 활성이 증대되어 다량의 유기물이 분해되면서 냄새물질의 발생이 증가될 수 있다(Le et al., 2005). 미생물은 증식과 활동을 위해 단백질과 탄수화물을 이용한다(Gibson and Roberfroid, 1995). 그런데 단백질에 비해 탄수화물의 양이 적거나 단백질이 상대적으로 많으면 미생물은 에너지원으로 단백질을 이용하기 때문에 냄새물질이 많이 생산될 수 있다(Reid and Hillman, 1999;



### OPEN ACCESS

**Citation:** Hwang OH, Han DW, Lee SR, Kwag JH, Lim JS, Cho SB. 2016. Effect of horseradish, mushroom waste and almond hull on the concentrations of odorous compounds in swine manure for spreading on grassland in spring. *Korean Journal of Agricultural Science* 43:589-594.

**DOI:** <https://doi.org/10.7744/kjoas.20160061>

**Editor:** Jung Min Heo, Chungnam National University, Korea

**Received:** May 17, 2016

**Revised:** August 5, 2016

**Accepted:** August 12, 2016

**Copyright:** ©2016 Korean Journal of Agricultural Science.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Sutton et al., 1999). 이때 발효탄수화물이 풍부한 비전분태 다당류를 사료에 첨가하여 돼지에게 급여하였을 때, 분뇨의 휘발성지방산(volatile fatty acid; VFA) 농도가 증가되고 pH가 낮아지면서 암모니아 휘산이 감소되었다(Canh et al., 1996). 그러나 발효탄수화물이 적은 탄수화물을 사료에 첨가하여 급여하였을 때 오히려 분뇨의 냄새물질 농도가 높아졌다(Gralapp et al., 2002). 가축의 분뇨에서 발생하는 냄새를 줄이기 위해서는 발효탄수화물이 풍부한 원료의 선택이 필요할 것이다(Sommer et al., 1991). 본 연구에서는 서양고추냉이 분말, 팽이버섯폐배지 분말 및 아몬드피 분말을 이용하였다. 서양고추냉이 분말에는 퍼옥시다아제가 함유되어 있으며 페놀류를 산화하여 분뇨의 페놀류 농도를 감소시킨다(Klibanov et al., 1983). 팽이버섯폐배지 분말에는 콘코브, 밀기울 등이 많이 포함되어 있으며 조섬유 함량이 13.7% 정도로 높다(Cheong et al., 2006). 그리고 버섯균은 다당류를 단당류로 분해할 수 있기 때문에(Kim, 1993), 미생물 성장을 위해 다양한 탄수화물이 공급될 수 있어 냄새 저감에 도움을 줄 수 것이다. 아몬드피 분말은 조섬유 함량이 44%로 다량의 발효탄수화물을 함유하고 있기 때문에(Hwang et al., 2013), 미생물의 주요 에너지원으로 이용될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 돼지 분뇨에 서양고추냉이 분말, 팽이버섯폐배지 분말 및 아몬드피 분말을 각각 첨가한 후 냄새물질 농도의 저감 효과를 분석하였다.

## Materials and methods

### 실험설계 및 분석시료 채취

시험구는 냄새저감 물질 첨가구인 3처리구(서양고추냉이 분말, 팽이버섯폐배지 분말, 아몬드피 분말)와 대조구로 하여 총 4처리구로 구성되었으며, 배양온도는 20°C(봄철)로 하였다. 배양방법은 20 L 아크릴 반응조에 돼지 분뇨 15 L를 채우고 서양고추냉이 분말(0.03%), 팽이버섯폐배지 분말(1%) 및 아몬드피 분말(1%)을 각각 첨가한 후 반응조 상부에 공기를 분당 15 mL씩 주입하면서 14일간 배양하였다. 냄새저감 물질의 첨가수준은 돼지 분뇨에 각 물질을 수준별로 첨가한 후 냄새저감 효과를 평가하여 선정하였다[서양고추냉이 분말(Lee et al., 2012), 팽이버섯폐배지 분말(NIAS, 2014), 아몬드피 분말(NIAS, 2015)]. 배양 종료 후 분뇨를 채취하여 pH, 총 탄소, 총 질소 및 냄새물질의 농도를 분석하였다.

### pH, 총 탄소 및 총 질소 분석

pH는 pH 4, 7, 10의 표준용액을 이용하여 pH meter (850C, Schott, Germany)를 calibration한 후 측정되었다. 총 탄소(total carbon; TC)는 슬러리를 건조하여 분쇄한 후 원소분석기(Vario Macro, GmbH, Germany)를 이용하여 분석되었다. 총 질소(total nitrogen; TN)는 슬러리 50 mL에 알칼리성 과황산칼륨(Sigma-aldrich, USA) 용액 10 mL을 첨가하여 혼합하고 120°C에서 30분간 가열한 후, 상등액을 분리한다. 알칼리성 과황산칼륨 용액은 물 1 L에 수산화나트륨 40 g과 과황산칼륨 30 g을 녹인 것이다. 상등액 25 mL과 염산(Merck, Germany) 용액(염산: 물 = 1 : 16) 5 mL을 혼합한 후 흡광광도기(Cary 300, Agilent, USA)로 측정되었다.

### 냄새물질 분석

페놀류 및 인돌류를 분석하기 위해 슬러리 4 mL에 4 M 수산화나트륨(Sigma-Aldrich, USA) 50  $\mu$ L와 99.5% 클로로포름 원액(Merck, Germany) 4 mL을 첨가하여 혼합한 후 원심분리기를 이용하여 클로로포름 층을 분리하였다. 분석용 컬럼은 DB-1 (30 m  $\times$  0.25 mm  $\times$  0.25  $\mu$ m, Agilent, USA)을 이용하였고, 주입구와 검출구의 온도는 250°C 및 split ratio 5 : 1로 설정하여 FID (flame ionization detector)가 장착된 가스크로마토그래피(6890N, Agilent, USA)로 분석되었다. 휘발성지방산[단쇄지방산(short chain fatty acid, SCFA), 이성체지방산(branched-chain fatty acid, BCFA); Jensen and Jorgensen (1994)]은 슬러리 5 mL에 25% 인산(Sigma-Aldrich, USA) 용액 1 mL을 첨가하여 혼합한 후 원

심분리기를 이용하여 상층액을 분리하였다. 상층액은 0.2 µm 필터(Whatman, Sweden)를 이용하여 불순물을 제거한 후 FID (flame ionization detector)가 장착된 가스크로마토그래피(6890N, Agilent, USA)로 분석되었다. 분석용 컬럼은 HP-INNOWax (30 m × 0.25 mm × 0.25 µm, Agilent, USA)를 이용하였고 주입구와 검출구의 온도는 250°C 및 split ratio 10 : 1로 설정하였다. 암모니아성 질소는 슬러리에 99.8%의 산화마그네슘(Wako, Japan) 0.3 g과 비등석 3 개를 넣어 혼합한 후 켈달질소 분해장치(1035 Analysis, Foss, Denmark)를 이용하여 분석되었다.

## 통계분석

모든 실험결과는 SAS (Statistical Analysis System, 2002) 프로그램을 이용하여 GLM (General Linear Model)의 분산분석으로 통계 처리되었다. 처리구 평균 간의 차이는 Duncan (1955)의 다중검정법에 의한 95% 유의수준으로 분석하였다.

## Results and Discussion

### 냄새저감 물질이 돼지 분뇨의 화학적 특성에 미치는 효과

돼지 분뇨에 서양고추냉이 분말, 팽이버섯폐배지 분말 및 아몬드피 분말을 각각 첨가한 후 20°C 온도에서 14일 간 배양한 다음 시료를 채취하여 pH, 총 탄소 및 총 질소 함량의 분석 결과를 Table 1에 정리하였다. 냄새저감 물질의 처리구에 따라 pH 및 총 탄소의 함량은 차이가 있었지만( $p < 0.05$ ), 총 질소의 함량은 차이가 없었다( $p > 0.05$ ). pH는 대조구, 서양고추냉이 분말, 팽이버섯폐배지 분말 및 아몬드피 분말 처리구에서 각각 7.92, 7.90, 7.82, 7.60으로 아몬드피 분말 처리구가 가장 낮았다( $p < 0.05$ ). 이것은 분뇨 내 미생물이 팽이버섯폐배지와 아몬드피(조섬유 함량: 팽이버섯폐배지 분말 14%, 아몬드피 분말 44%)에 함유된 다량의 탄수화물을 분해한 후 생산한 유기산에 의해 영향(Nahm, 2003)을 받았을 것으로 추측된다. 총 탄소의 함량은 대조구, 서양고추냉이 분말, 팽이버섯폐배지 분말 및 아몬드피 분말 처리구에서 각각 3,343, 3,659, 3,779, 4,200 mg/L으로 아몬드피 분말 처리구에서 가장 높았다( $p < 0.05$ ). 이것은 탄소를 포함하는 일반성분 중 조섬유의 함량이 다른 냄새저감물질에 비해 아몬드피 분말에서 더 높았기 때문으로 판단된다.

**Table 1.** Effect of odor reducing agents on pH, TC, and TN in pig manure.

Items	Control	Horseradish	Mushroom waste	Almond hull	SE <sup>z</sup>
pH	7.92a	7.90a	7.82b	7.60c	0.03
TC <sup>x</sup> (mg/L)	3,343c	3,659b	3,779b	4,200a	87.73
TN <sup>y</sup> (mg/L)	953	953	997	1,010	16.42

<sup>x</sup>TC: total carbon.

<sup>y</sup>TN: total nitrogen.

<sup>z</sup>SE: standard error.

Figures with different letters within the same row are significantly different ( $p < 0.05$ ).

### 냄새저감 물질이 돼지 분뇨의 페놀류 및 인돌류 농도에 미치는 효과

돼지 분뇨에 서양고추냉이 분말, 팽이버섯폐배지 분말 및 아몬드피 분말을 첨가하고 20°C에서 14일간 배양한 후 시료를 채취하여 페놀류 및 인돌류 농도의 분석 결과를 Table 2에 정리하였다. 페놀류 농도는 대조구, 서양고추냉이 분말, 팽이버섯폐배지 분말 및 아몬드피 분말 처리구에서 각각 4.99, 12.19, 11.47, 17.22 mg/L으로 대조구보다 냄새저감 물질 처리구에서 더 높았다( $p < 0.05$ ). 인돌류 농도는 대조구, 서양고추냉이 분말, 팽이버섯폐배지 분말 및 아몬

드피 분말 처리구에서 각각 4.51, 4.40, 4.58, 4.08 mg/L으로 아몬드피 분말 처리구에서 낮았다( $p < 0.05$ ). Cho et al. (2013)의 연구에서는 돼지 분뇨에 아몬드피 분말을 살포한 후 35°C에서 배양하였을 때 페놀류와 인돌류 농도가 감소되었다고 하였다. Govere et al. (2007)의 연구에서도 돼지 분뇨에 고추냉이 뿌리를 첨가하였을 때 페놀류 농도가 감소되었다고 하였다. Cho et al. (2013)의 연구와 달리 본 연구에서는 돼지 분뇨에 냄새저감 물질을 첨가한 후 20°C에서 배양하였고, 이때 분뇨 내 냄새물질의 저감 효과가 나타나지 않았다. 배양 온도가 낮으면 돼지 분뇨 내 존재하는 미생물의 활력이 감소되어 유기물의 분해 정도가 줄어들는다(Popovic and Jensen, 2012). 그래서 20°C에서는 냄새저감 물질에 함유된 발효탄수화물의 분해가 감소됨으로써 분뇨의 냄새 저감에 영향을 주지 못한 것으로 추측된다.

**Table 2.** Effect of odor reducing agents on the concentrations of phenols and indoles in pig manure.

Compounds	Control	Horseradish	Mushroom waste	Almond hull	Unit: mg/L
					SE <sup>z</sup>
Phenol	0.34c	0.48b	0.72a	0.48b	0.03
p-Cresol	4.65c	11.72b	10.75b	16.74a	0.75
Indole	0.96a	0.97a	0.98a	0.79b	0.02
Skatole	3.55	3.43	3.61	3.29	0.05
Phenols <sup>x</sup>	4.99c	12.19b	11.47b	17.22a	0.76
Indoles <sup>y</sup>	4.51a	4.40ab	4.58a	4.08b	0.07

<sup>x</sup>Phenols: phenol + p-cresol.

<sup>y</sup>Indoles: indole + skatole.

<sup>z</sup>SE: standard error.

Figures with different letters within the same row are significantly different ( $p < 0.05$ ).

### 냄새저감 물질이 돼지 분뇨의 휘발성지방산 및 암모니아성 질소 농도에 미치는 효과

돼지 분뇨에 서양고추냉이 분말, 팽이버섯폐배지 분말 및 아몬드피 분말을 첨가하고 20°C에서 14일간 배양한 후 휘발성지방산 및 암모니아성 질소의 농도를 측정된 결과를 Table 3에 정리하였다. 단쇄지방산 농도는 대조구, 서양고추냉이 분말, 팽이버섯폐배지 분말, 및 아몬드피 분말 처리구에서 각각 1,890, 1,885, 2,469, 3,417 mg/L으로 아몬

**Table 3.** Effect of odor reducing agents on the concentrations of VFA and ammonium nitrogen in pig manure.

Compounds	Control	Horseradish	Mushroom waste	Almond hull	Unit: mg/L
					SE <sup>z</sup>
Acetic acid	1,788c	1,739c	2,120b	2,758a	69.99
Propionic acid	67d	116c	305b	590a	34.90
Butyric acid	36c	30a	45b	68a	2.47
i-Butyric acid	138b	139b	143ab	146a	1.01
i-Valeric acid	182a	191c	200b	209a	2.03
SCFA <sup>x</sup>	1,890c	1,885c	2,469b	3,417a	106.80
BCFA <sup>y</sup>	320c	329c	343b	355a	2.96
Ammonium nitrogen	659	701	659	724	13.90

<sup>x</sup>SCFA (short chain fatty acid): acetic acid + propionic acid + butyric acid (Jensen and Jorgensen, 1994).

<sup>y</sup>BCFA (branched-chain fatty acid): i-butyric acid + i-valeric acid (Jensen and Jorgensen, 1994).

<sup>z</sup>SE: standard error.

Figures with different letters within the same row are significantly different ( $p < 0.05$ ).

드피 분말 처리구에서 가장 높았다( $p < 0.05$ ). 이성체지방산 농도는 대조구, 서양고추냉이 분말, 팽이버섯폐배지 분말, 및 아몬드피 분말 처리구에서 각각 320, 329, 343, 355 mg/L으로 아몬드피 분말 처리구에서 가장 높았다( $p < 0.05$ ). 이 결과는 미생물이 탄수화물을 분해하면 주로 휘발성지방산을 생산하는 기작과 일치한다(Yang et al., 2013). 아몬드피 분말은 다른 냄새저감 물질에 비해 조섬유의 함량이 높기 때문에 분뇨 내 미생물에 의한 탄수화물 분해가 증가되면서 휘발성지방산의 농도가 높아진 것으로 판단된다(Canh et al., 1996). 이러한 변화는 Table 1의 pH 감소와 연관된다. 휘발성지방산의 구성은 아세트산과 프로피온산이 70 - 90%를 차지하지만 두 물질은 악취감지 최소농도가 높기 때문에 불쾌도가 낮으며 축산 냄새에 미치는 영향이 크지 않다(Spiehs and Varel, 2009).

## Conclusion

본 연구는 봄철, 초지에 살포되는 돼지 분뇨에서 발생하는 냄새를 줄이기 위하여 서양고추냉이 분말, 팽이버섯폐배지 분말, 및 아몬드피 분말을 각각 돼지 분뇨에 첨가한 후 봄(20°C) 온도에서 14일 간 배양한 다음 pH, 총 탄소, 총 질소, 및 냄새물질의 농도를 측정하였다. pH는 아몬드피 분말 처리구에서 가장 낮았으며( $p < 0.05$ ), 총 탄소의 함량은 아몬드피 분말 처리구에서 가장 높았다( $p < 0.05$ ). 반면, 총 질소의 함량은 처리구별 차이가 없었다( $p > 0.05$ ). 페놀류 농도는 냄새저감 물질 처리구에서 더 높았지만( $p < 0.05$ ), 인돌류 농도는 아몬드피 처리구에서 낮았다( $p < 0.05$ ). 휘발성지방산의 농도는 아몬드피 처리구에서 가장 높았다( $p < 0.05$ ). 이상의 결과를 정리하면, 봄철 온도인 20°C에서는 돼지 분뇨 내 미생물의 활력이 낮아서 발효탄수화물의 분해가 감소됨으로써 분뇨의 냄새저감 효과가 나타나지 않은 것으로 판단된다.

## Acknowledgments

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명 : 돼지 사료용 냄새저감물질 실용화 증진 연구, 세부과제번호 : PJ01026301)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## References

- Canh TT, Aarnink AJA, Bakker GCM, Verstegen MWA. 1996. Effect of dietary fermentable carbohydrates on the pH of and the ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science* 74:191.
- Cheong JC, Jhune CS, Kim SH, Jang KY, Park JS, Na JC, Chun MH. 2006. Effect of the adding of *Flammulina velutipes* cultivation media wastes into chicken feed on the meat quality and production cost of broiler. *The Korean Journal of Mycology* 34:29-33. [in Korean]
- Cho SB, Hwang OH, Park KH, Choi DY, Yang SB, Kim DH, Park SK. 2013. The effect of the addition of carbohydrate sources on the concentration of odorous compounds for recycling of pig slurry to grassland. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science* 33:257-262. [in Korean]
- Duncan DB. Multiple range and multiple F test. 1955. *Biometrics* 11:1-42.
- Gibson GR, Roberfroid MB. 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota introducing the concept of prebiotics. *Journal of Nutrition* 125:1401-1412.
- Govere EM, Tonegawa M, Bruns MA, Wheeler EF, Kephart KB, Voigt JW, Dec J. 2007. Using minced horseradish roots and peroxides for the deodorization of swine manure: A pilot scale study. *Bioresource Technology* 98:1191-1198.
- Gralapp A, Powers W, Faust M, Bundy D. 2002. Effects of dietary ingredients on manure characteristics and odorous emissions from swine. *Journal of Animal Science* 80:1512-1519.

- Hwang OH, Yang SH, Jeon JH, Kim JK, Choi DY, Cho SB. 2013. The effect of the addition levels of odor reducing contents on the concentration of volatile fatty acid and volatile organic compound in pig slurry. *Journal of Animal Environmental Science* 19:101-108. [in Korean]
- Jensen BB, Jorgensen H. 1994. Effect of dietary fiber on microbial activity and microbial gas production in various regions of the gastrointestinal tract of pigs. *Applied and Environmental Microbiology* 60:1897-1904.
- Kim HJ. 1993. Studies on the butt-rot disease of Japanese larch caused by *Sparassis crispa*, *Phaeolus schweinitzii* and *Laetiporus sulphureus*. Ph. D. dissertation, Kangwon Univ., Chuncheon, Korea. [in Korean]
- Klibanov AM, Tu TN, Schott KP. 1983. Peroxidase catalyzed removal of phenols from coal conversion waste waters. *Science* 221:259-261.
- Le PD, Aarnink AJ, Ogink NW, Becker PM, Verstegen MW. 2005. Odor from animal production facilities: its relationship to diet. *Nutrition Research Review* 18:3-30.
- Lee KH, Hwang OH, Park KH, Yang SH, Song JI, Jeon JH, Lee JY, Ohh SJ, Sung HG, Choi DY, Cho SB. 2012. The effect of horseradish powder level in fattening pig diet on odorous compound concentration from manure. *Journal of Livestock House and Environment* 18:41-46. [in Korean]
- Nahm KH. 2003. Influences of fermentable carbohydrates on shifting nitrogen excretion and reducing ammonia emission of pigs. *Critical Review Environment Science Technology* 33:165-186.
- NIAS. 2014. Research report: Study on fermentation improvement to reduce environmental pollution from livestock manure. Korea. [in Korean]
- NIAS. 2015. Research report: Development for odor reduction technologies of swine farm using additives and circulation system. Korea. [in Korean]
- Popovic O, Jensen LS. 2012. Storage temperature affects distribution of carbon, VFA, ammonia, phosphorus, copper and zinc in raw pig slurry and its separated liquid fraction. *Water Research* 46:3849-3585.
- Reid CA, Hillman K. 1999. The effects of retrogradation and amylose/amylopectin ratio of starches on carbohydrate fermentation and microbial populations in the porcine colon. *Animal Science* 68:503-510.
- SAS. 2002. SAS/STAT software, version 9.1. SAS Institute Inc., Cary, N.C. USA.
- Sommer SG, Olesen JE, Christensen BT. 1991. Effects of temperature, wind speed and air humidity on ammonia volatilization from surface applied cattle slurry. *Journal of Agriculture Science* 117:91-100.
- Spiehs MJ, Varel VH. 2009. Nutrient excretion and odorant production in manure from cattle fed corn wet distillers grains with solubles. *Journal of Animal Science* 87:2977-2984.
- Sutton AL, Kephart KB, Verstegen MW, Canh TT, Hobbs PJ. 1999. Potential for reduction of odorous compounds in swine manure through diet modification. *Journal of Animal Science* 77:430-439.
- Yang J, Martinez I, Walter J, Keshavarzian A, Rose DJ. 2013. In vitro characterization of the impact of selected dietary fibers on fecal microbiota composition and short chain fatty acid production. *Anaerobe* 23:74-81.