

초지환원용 비육돈의 분과 뇨에 있어서 휘발성유기물과 휘발성지방산 농도 비교

조성백¹ · 황옥화¹ · 양승학¹ · 곽정훈¹ · 최동윤¹ · 양성봉² · 김두환³ · 박성권^{1*}

¹농촌진흥청 국립축산과학원, ²울산대학교, ³경남과학기술대학교

Comparison of Volatile Organic Compound and Volatile Fatty Acid Concentration in Feces and Urine of Finishing Pigs

Sung Back Cho¹, Ok Hwa Hwang¹, Seung Hak Yang¹, Jeong Hoon Kwag¹, Dong Yun Choi¹, Sung Bong Yang²,
Doo Hwan Kim³ and Sung Kwon Park^{1*}

¹National Institute of Animal Science, RDA, Suwon 441-706, Korea, ²Ulsan University, Ulsan 680-749, Korea,

³Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-768, Korea

ABSTRACT

This study was performed to compare the level of odorous compounds in feces and urine of finishing pigs. Feces and urine from 16 finishing pigs were separately collected for 28-d. Concentrations of volatile organic compound (VOC; phenols and indoles) and volatile fatty acid (VFA; SCFA and BCFA) were measured in feces and urine. Amount of phenols and p-cresol was higher ($P<0.05$) in urine than in feces. Urinal levels of phenols and p-cresol were 257.8 ppm and 250.9 ppm, and those of fecal phenols and p-cresol were 0.50 ppm and 0.05 ppm, respectively. There was no difference in concentration of indoles from feces (1.0 ppm) and urine (1.8 ppm). Short chain fatty acid (SCFA) level in urine was higher ($P<0.05$) than in feces showing 4,547 ppm and 863 ppm, respectively. Proportion of acetic acid to total SCFA was higher in urine (94%) than in feces (66%). However, level of branched fatty acid (BCFA) was greater in feces (118 ppm) compare to that of urine (87 ppm). Odorous compounds analyzed in the current study, phenols and SCFA, were contained more in urine than in feces. Greater amount of VFA is typically found in feces than in urine since it is generated in the large intestine. However, urine contained more VFA than feces in the current study. Therefore, it will be necessary to exploit odor reducing techniques especially for pig urine as grassland fertilizer.

(Key words : Swine slurry, Odor, Feces, Urine)

I. 서 론

양돈장의 악취는 농장 내 저장된 슬러리에서 발생된다 (Williams and Evans, 1981). 돼지가 섭취한 영양소 중 체 내에 축적되지 않고 분과 뇨를 통하여 배설된 물질이 농장 내부에 저장되고 발효되면 휘발성유기물이 만들어 진다 (Mackie et al., 1998; Spiels and Varel, 2009). 이들의 농도 및 강도에 따라 사람들이 느끼는 악취의 정도가 달라진다 (Zahn et al., 2001).

Williams (1984)과 Hobbs et al. (1997)은 축산시설에서 발생하는 악취의 지표물질로 휘발성지방산, 인돌류, 페놀류 및 황화합물 등 4종류를 제시하였다. 이 중 페놀류와 인돌

류가 돈사에서 발생하는 주요 냄새물질로 제시되고 있다 (Schaefer, 1977; Williams and Evans, 1981; O'Neill and Phillips, 1992). 페놀류의 대표물질인 페놀과 p-크레졸은 L-타이로신의 분해로 생성되고, 인돌류의 대표물질인 인돌과 스카톨은 L-트립토판의 분해로 생성된다. 페놀류와 인돌류가 가축의 대장 점막을 통해 흡수되면 간으로 이동하여 독성이 없는 물질인 글루쿠로니드, 황산 및 무기태황으로 전변된다 (Smith and Williams, 1966). 이들 물질은 뇨를 통하여 배설되고, 분과 뇨가 혼합되면 분의 β -글루쿠로니다아제에 의해 글루쿠로니드가 분해되어 다시 페놀류 및 인돌류가 생성된다. 악취물질은 뇨 보다 분에 더 많이 분포되어 있지만, 뇨에는 악취강도가 높은 p-크레졸이 많이 함유되어

* Corresponding author : Sung Kwon Park, Animal Nutrition and Physiology Team, National Institute of Animal Science, RDA, Suwon 441-706, Korea. Tel : 031-290-1657. E-mail : maiky@korea.kr.

있기 때문에 악취강도는 분 보다 뇨에서 3배 더 높다 (Hales et al., 2012).

돈사 피트의 혐기적인 조건에서 분뇨가 저장되면 혐기미생물에 의해 분해되어 불쾌한 냄새가 발생되는데, 이 때 휘발성지방산의 함량이 높다(Cho et al., 2013). 일반적으로 휘발성지방산을 구성하는 물질들의 상대적인 비율은 일정하다. 단쇄지방산 중에서 아세트산과 프로피온산이 각각 84%와 10%이며 이들 두 물질이 총 단쇄지방산의 대부분을 차지한다(Cho et al., 2013). 하지만 아세트산, 프로피온산 및 부티르산으로 구성된 단쇄지방산은 악취감지 최소농도가 높기 때문에 이성체지방산보다 악취강도가 낮다(Spiehs and Varel, 2009).

돼지 분뇨의 악취물질 중 p-크레졸의 악취강도는 뇨와 분에서 각각 97.6%와 67.3%로 뇨에서 강하였다(Parker et al., 2013). 그러나 비육돈사의 공기 배출구에서 측정된 악취강도는 부티르산, 인돌, p-크레졸이 각각 35.2, 22.9, 22.9% 이었다(Trabue et al., 2008). 돼지 슬러리를 농경지에 살포한 다음 악취강도를 측정하였을 때, p-크레졸, 스카톨, 휘발성지방산이 각각 79.5, 12.3, 4.8% 이었다(Parker et al., 2013). 저장된 돼지 분뇨의 악취강도는 인돌, 스카톨, p-크레졸이 각각 69.7, 22.3, 4.7% 이었다(Trabue et al., 2008). 따라서, 돼지 분뇨에서 악취강도가 높은 물질들이 분과 뇨에 어느 정도 수준으로 함유되어 있는지 평가하여 핵심 악취물질의 농도를 낮추는 적용방안을 모색할 필요가 있다.

본 연구의 목적은 초지 또는 농경지에 살포되는 퇴비와 액비에 의해 발생될 수 있는 악취민원에 대처하기 위하여, 돼지의 분과 뇨에 존재하는 악취물질 농도를 비교 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 설계 및 공시동물

체중 71.2 ± 6.6 kg 비육돈 16두를 28일간 대사케이지에서 사육하면서 한국돼지사양표준(2012)을 기준으로 배합한 사료를 급여하였다. 돼지는 자유채식양의 90% 수준으로 1일 2회(09:00, 16:00) 동량으로 나누어 사료를 섭취하였으며, 물은 자유채식 하였다.

2. 분뇨 채취

대사케이지에서 20일간의 적응 기간 후 분과 뇨는 전분

채취법으로 매일 채취하였고, 이때 분과 뇨는 분리하여 채취한 후 균질화 과정을 거쳐 악취분석용 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 분석 전까지 -20℃에 보관하였다.

3. 악취물질 분석

휘발성유기물 분석용 시료는 Jensen et al.(1995)의 방법에 따라 준비되었고, 휘발성지방산을 분석하기 위한 시료는 25% 인산용액으로 전처리하여 준비한 후 가스크로마토그래피(6890N, Agilent, USA)를 이용하여 분석하였다. 주입구와 검출기의 온도는 250℃로 하였고, Split ratio는 휘발성유기물 5:1과 휘발성지방산 10:1로 설정하였다. 컬럼은 직경 0.25 mm, 길이 30 m의 DB-1과 HP-INNOWax를 각각 사용하였고, 검출기는 두 물질 모두 FID(Flame Ionization Detector)를 이용하였다.

4. 통계처리

모든 실험은 각각 4반복으로 실험을 하였으며, 실험결과에 대한 통계분석은 SAS (Statistical Analysis System, 1996) package GLM (General Linear Model)을 이용하여 분산분석을 실시하였고, 평균간 차이는 Duncan(1955)의 다중검정법에 의해 95% 유의수준으로 분석되었다.

III. 결과 및 고찰

1. 비육돈의 분과 뇨에 함유된 휘발성유기물의 농도 비교

분과 뇨에 함유된 페놀류와 인돌류 농도는 Table 1과 같다.

Table 1. Comparison volatile organic compound (VOC) concentration between feces and urine of pigs

VOC	Feces	Urine	SEM
Phenol	0.05 ^b	6.89 ^a	1.21
p-Cresol	0.46 ^b	250.87 ^a	34.86
Phenols ¹⁾	0.50 ^b	257.80 ^a	35.39
Indole	0.60 ^b	1.71 ^a	0.26
Skatole	0.45 ^a	0.06 ^b	0.05
Indoles ²⁾	1.04	1.77	0.25

¹⁾ Phenols = Phenol + p-Cresol

²⁾ Indoles = Indole + Skatole

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

페놀류 농도는 분과 뇨에서 각각 0.50과 257.80 ppm으로 페놀류는 대부분 뇨에 함유되어 있었다 ($p < 0.05$). 페놀 농도는 분과 뇨에서 각각 0.05와 6.89 ppm이고, p-크레졸 농도는 분과 뇨에서 각각 0.46과 250.87 ppm으로 분보다 뇨에서 높았다 ($p < 0.05$). 페놀은 분보다 뇨에 축적된 비율이 138 배 높았으며, p-크레졸은 분보다 뇨에 축적된 비율이 545 배 더 높았다. 페놀류의 대부분은 p-크레졸이었으며, p-크레졸은 페놀류 농도의 93~96% 정도를 차지하고(Cho et al., 2013) 페놀은 p-크레졸의 10% 이하로 존재한다는 연구결과(Spoelstra, 1977)와 일치하였다. 포유동물의 장관에서 타이로신이 미생물에 의해 분해되고, 이들 분해산물이 체내로 흡수되어 최종적으로 뇨를 통하여 배설되는 과정을 생각하면 페놀류농도가 뇨에서 높은 것은 당연하다고 하겠다.

인돌류 농도는 분과 뇨에서 각각 1.04와 1.77 ppm으로 분과 뇨의 차이가 없었다 ($p > 0.05$). 인돌 농도는 분과 뇨에서 각각 0.60과 1.71 ppm으로 분보다 뇨에서 높았다 ($p < 0.05$). 스카톨 농도는 분과 뇨에서 각각 0.45와 0.06 ppm으로 뇨보다 분에서 더 높았다 ($p < 0.05$). 인돌과 스카톨은 미생물에 의한 트립토판의 분해로 생성되는데, 인돌의 농도는 뇨에서 높고 스카톨은 분에서 더 높다는 연구결과와 일치하였다(Spoelstra, 1977).

돼지 분뇨에서 p-크레졸이 악취에 미치는 강도는 뇨와 분에서 각각 97.6%와 67.3% 이고(Parker et al. 2013), 돼지 슬러리를 농경지에 살포한 다음 느끼는 악취강도는 p-크레졸과 스카톨이 각각 79.5%와 12.3% 정도 되었다(Parker et al. 2013). 휘발성유기물 중에서 악취물질의 농도 및 강도가 가장 높은 물질이 p-크레졸이라고 하면, 돼지 분뇨를 고액분리 하였을 때 퇴비로 이용되는 고체보다 액비로 이용되는 액상물질에서 악취가 훨씬 강할 것으로 예측된다. 또한 가축의 분뇨에 포함된 p-크레졸은 타이로신의 분해로 생성되기 때문에 사료의 단백질 농도를 낮추면 타이로신의 섭취를 줄일 수 있어서 대장말단으로 이동되는 양이 감소되어 악취를 제어할 수 있을 것이다(Mackie et al., 1998).

2. 비육돈의 분과 뇨에 함유된 휘발성지방산의 농도 비교

분과 뇨에 함유된 휘발성지방산의 농도는 Table 2와 같다. 단쇄지방산 농도는 분과 뇨에서 각각 863과 4,547 ppm으로 분보다 뇨에 많이 함유되어 있었다 ($p < 0.05$). 아세트산 농도는 분과 뇨에서 각각 567과 4,252 ppm으로 분보다 뇨

Table 2. Comparison volatile fatty acid (VFA) concentration between feces and urine of pigs.

VFA	Feces	Urine	SEM
Acetic acid	567 ^b	4,252 ^a	459
Propionic acid	176	188	23
Butyric acid	120	107	12
i-Butyric acid	33 ^a	14 ^b	4
i-Valeric acid	85	72	9
SCFA ¹⁾	863 ^b	4,547 ^a	464
BCFA ²⁾	118	87	12

¹⁾ SCFA = Acetic acid + Propionic acid + Butyric acid.

²⁾ BCFA = i-Butyric acid + i-Valeric acid.

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

에서 높았다 ($p < 0.05$). 프로피온산 농도는 분과 뇨에서 각각 176과 188 ppm, 부티르산은 각각 120과 107 ppm으로 두 성분 모두 분과 뇨에서 차이가 없었다 ($p > 0.05$). 휘발성지방산 중에서 아세트산과 프로피온산의 농도비는 분에서 각각 65와 20% 이었으며, 뇨에서는 각각 93과 4%로 휘발성지방산의 대부분은 아세트산과 프로피온산으로 구성되어 있었다. 하지만 이들은 악취감지 최소농도가 높기 때문에 악취에 미치는 강도는 높지 않다(Spiehs and Varel, 2009).

이성체지방산 농도는 분과 뇨에서 각각 118과 87 ppm으로 분과 뇨에서 차이가 없었다. I-부티르산 농도는 분과 뇨에서 각각 33과 14 ppm으로 뇨 보다 분에서 높았으며 ($p < 0.05$), I-발레르산 농도는 분과 뇨에서 각각 85와 72 ppm으로 차이가 없었다.

악취강도가 상대적으로 높은 이성체지방산의 농도는 분과 뇨 간에 차이가 없었으며 휘발성지방산이 분과 뇨의 악취강도에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단된다. 가축의 사료로 이용되는 강피류에 많이 함유된 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스는 다당류 또는 단당류로 분해된 다음 아세트산, 프로피온산, 부티르산으로 전변되는데, 이들의 섭취로 발생하는 냄새가 악취에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 생각된다.

IV. 요약

초지 또는 농경지에 살포되는 퇴비와 액비에 의해 발생될 수 있는 악취민원에 대처하기 위하여, 돼지의 분과 뇨에 존재하는 악취물질 농도를 비교 분석하였다.

1. 비육돈의 분과 뇨에 함유된 휘발성유기물의 농도 비교

페놀, p-크레졸 및 페놀류 농도는 분 보다 뇨에서 높았으며 ($p < 0.05$), 분 보다 뇨에 축적된 비율이 페놀은 138배, p-크레졸은 545배 높았다. 인돌 농도는 분 보다 뇨에서 높았으며, 스카톨은 뇨 보다 분에서 높았다 ($p < 0.05$).

휘발성유기물은 대부분 뇨로 배설되었으며, 이 중 농도 및 악취강도가 가장 높은 물질인 p-크레졸이 뇨에 많이 함유되어 있다. 돼지 분뇨를 고액분리 하였을 때 퇴비로 이용되는 고체보다 액비로 이용되는 액상물질에서 악취가 훨씬 강할 것으로 예측된다.

2. 비육돈의 분과 뇨에 함유된 휘발성지방산의 농도 비교

아세트산과 단쇄지방산 농도는 분 보다 뇨에서 높았으며 ($p < 0.05$), 부티르산과 프로피온산은 차이가 없었다 ($p > 0.05$). 이성체지방산 중 I-부티르산의 농도는 뇨 보다 분에서 높았지만 ($p < 0.05$), I-발레르산과 이성체지방산은 차이가 없었다 ($p > 0.05$).

휘발성지방산 중에서 아세트산과 프로피온산은 분에서 각각 65와 20%, 뇨에서는 각각 93과 4%로 휘발성지방산의 대부분을 차지하였지만 아세트산과 프로피온산을 포함하는 단쇄지방산은 악취강도가 낮다. 반면에 악취강도가 상대적으로 높은 이성체지방산은 분과 뇨 간에 차이가 없기 때문에 휘발성지방산이 악취강도에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.

이상의 연구결과를 종합하면, 돼지 분뇨의 악취물질 중 악취강도가 높은 p-크레졸은 뇨에 많이 함유되어 있기 때문에 퇴비와 액비 생산과정 중 액상처리 시 악취강도가 매우 높을 것으로 추정된다. 다만, 악취강도는 휘발성지방산의 농도 변화에 따라 차이가 있을 것으로 생각된다.

V. 사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ009235032014)의 지원에 의해 이루어진 것임

VI. REFERENCES

Cho, S.B., Hwang, O.H., Park, K.H., Choi, D.Y., Yang, S.B., Kim, D.H. and Park, S.K. 2013. The effects 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(4):257-262.

Duncan, D.B. 1955. Multiple range and multiple F test. *Biometrics*. 11:1-42.

Hales, K.E., Parker, D.B. and Cole, N.A. 2012. Potential odorous volatile organic compound emissions from feces and urine from cattle fed corn-based diets with wet distillers grains and solubles. *Atmospheric Environment*. 60:292-297.

Hobbs, P.J., Misselbrook, T.H. and Pain, B.F. 1997. Characterisation of odorous compounds and emissions from slurries produced from weaner pigs fed dry feed and liquid diets. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 437-445.

Jensen, M.T., Cox, R.P. and Jensen, B.B. 1995. 3-Methylindole (skatole) and indole production by mixed populations of pig fecal bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*. 61(8):3180-3184.

Mackie, R.I., Stroot, P.G. and Varel, V.H. 1998. Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste. *Journal of Animal Science*. 76:1331-1342.

National institute of Animal Science, RDA. 2012. Korean feeding standard, swine. Korea

O'Neill, D.H. and Phillips, V.R.A. 1992. Review of the control of odour nuisance from livestock buildings: Part 3: Properties of the odorous substances which have been identified in livestock wastes or in the air around them. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 53:23-50.

Parker, D.B., Gilley, J., Woodbury, B., Kim, K.H., Galvin, G., Bartelt-Huht, S.L., Li, X. and Snow, D.D. 2013. Odorous VOC emission following land application of swine manure slurry. *Atmospheric Environment*. 66:91-100.

SAS. 1996. SAS/STAT® software for PC. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Schaefer J. 1977. Sampling, characterization and analysis of malodours. *Agriculture and Environment*. 3:121-127.

Smith, R.L. and Williams, R.T. 1966. *Glucuronic Acid*. Free and Combined. New York and London: Academic Press.

Spiehs, M.J. and Varel, V.H. 2009. Nutrient excretion and odorant production in manure from cattle fed corn wet distillers grains with solubles. *Journal of Animal Science*. 87: 2977-2984.

Spoelstra, S.F. 1977. Simple phenols and indoles in anaerobically stored piggery wastes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 28:415-23.

Trabue, S.L., Scoggin, K.D., Li, H., Burns, R. and Xin, H. 2008. Field sampling method for quantifying odorants in humid environments. *Environmental Science and Technology*. 42:3745-

3750.

Williams, A.G. and Evans, M.R. 1981. Storage of piggery slurry. *Agricultural Waste*. 3:311-321.

Williams, A.G. 1984. Indicators of piggery slurry odour offensiveness. *Agricultural Waste*. 10:15-36.

Zahn, J.A., DiSpirito, A.A., Do, Y.S., Brooks, B.E., Cooper, E.E. and

Hatfield, J.L. 2001. Correlation of human olfactory responses to airborne concentrations of malodorous volatile organic compounds emitted from swine effluent. *Journal of Environmental Quality*. 30:624-634.

(Received June 3, 2014 / Revised June 13, 2014 / Accepted June 17, 2014)