

초지환원용 비육돈 슬러리의 계절에 따른 휘발성유기물과 휘발성지방산 농도 분석연구

조성백 · 양승학 · 이경태 · 박성권 · 한덕우 · 최동윤 · 황옥화*

농촌진흥청 국립축산과학원

Effect of Season on Volatile Organic Compounds and Volatile Fatty Acids Concentration in finishing Pig Slurry to Grassland

Sung Back Cho, Seung Hak Yang, Kyung Tai Lee, Sung Kwon Park, Duck Woo Han, Dong Yun Choi and Ok Hwa Hwang*

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

ABSTRACT

The objective of this study is to investigate the changes in levels of odorous compounds in pig slurry during different seasons. Slurry from pens of finishing pigs was sampled every 4-wk and concentration of odorous compounds was analyzed. There was no difference in the range of phenols level (123 to 156 ppm) during spring (April to May), summer (July to August) and fall (October to November). The concentration of indoles was higher ($P<0.05$) during spring (14.3 ppm) than summer and fall (5.4~7.6 ppm). Level of BCFA ranging from 727 to 1,194 ppm was not different at any season. Among SCFA, there was no difference in propionic acid during any season but levels of acetic acid and butyric acid were highest ($P<0.05$) during spring season. Concentration of odorous compounds in pig slurry was highest during spring season. Interestingly, it tended to be lower during summer season compare to fall. This result might be due to relatively lower ventilation rate in order to maintain a constant temperature during spring season. Further study will be necessary to determine the relationship between the concentration of odorous compounds and ventilation system.

(Key words : Swine Slurry, Odor, Season)

I. 서 론

양돈 시설에서 발생하는 악취는 축산 시설을 대상으로 하는 악취 민원의 54%를 차지할 정도로 문제가 심각하다 (MEV, 2006). 또한 초지나 농경지에 살포된 분뇨로 인해 악취가 발생되면서 가축분뇨의 이용에 많은 제한을 받고 있다. 온도가 상승하면 악취물질은 메탄과 이산화탄소 같은 최종산물로 잘 분해되지만 분해되는 속도보다 생성되는 속도가 빠르기 때문에 농도가 증가 된다 (Le et al., 2005). 그러나 온도가 낮아지면 분뇨에서 악취의 생성과 휘산이 늦어지기 때문에 악취발생량이 적다. 온도가 증가함에 따라 분뇨의 악취농도는 증가되지만 돈사 환기에 의해 악취 농도는 감소된다 (Le et al., 2005). 반면에 휘산되는 악취는 증가되는데, 환기율이 높아지면 휘산되는 악취물질의 양이 증가되면서 분뇨의 악취농도는 감소된다 (Le et al., 2005;

Verdoes and Ogink, 1997). 돈사 외부의 온도가 1°C 증가할 때마다 악취 발생량이 1% 증가되었으며, 돈사 내부 온도가 20°C에서 30°C로 10°C 증가되었을 때 암모니아와 악취 휘산량은 각각 46%와 37% 증가되었다고 한다 (Smits et al., 1995).

돼지 슬러리를 농경지에 살포한 후 악취강도를 평가하였을 때 전체 악취물질 중 p-크레졸, 스키탈, 총휘발성지방산이 각각 79.5, 12.3, 4.8%를 차지하였다 (Parker et al., 2013). 돈사 피트 내부의 혐기조건에서 분뇨를 저장하였을 때 발생하는 악취물질 중 휘발성지방산의 함량이 가장 높았다 (Cho et al., 2013). 총 휘발성지방산의 구성 비율은 초산 65%, 프로피온산 18%로 이들 두 물질이 총 휘발성지방산의 대부분을 차지하지만 악취감지 최소농도가 높기 때문에 악취강도에 미치는 정도는 미약하였다 (Spiels and Varel, 2009). 가축 분뇨는 겨울, 봄 그리고 가을철에 많이

* Corresponding author : Ok Hwa Hwang, Animal Environment Division, National Institute of Animal Science, RDA, Suwon 441-706, Korea. Tel : 031-290-1724. E-mail : hoh1027@korea.kr

살포되고, 여름철에는 이용량이 적다. 따라서 슬러리에서 단백질과 탄수화물이 분해되어 페놀류, 인돌류 및 휘발성 지방산이 생성되는 정도는 온도에 영향을 받기 때문에 계절적으로 차이가 있을 것 같다. 이와 같은 기작의 이해는 초지나 농경지에 살포되는 분뇨에서 발생하는 악취의 정도를 예측하는데 중요할 것이다.

본 연구는 비육돈사의 피트에서 정기적으로 슬러리를 채취하여 악취물질 농도를 측정함으로써 계절에 따라 초지 및 농경지에 살포되는 분뇨에서 휘산되는 악취강도를 예측하고자 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 실험설계

비육돈사 2개소를 대상으로 매월 1회 돈사 피트에서 슬러리를 채취하여 계절별(봄, 여름 및 가을)로 슬러리의 악취물질 농도를 분석하였다. 봄(4~5월), 여름(7~8월), 가을(10~11월)로 구분하여 시료를 채취하였다. 시료채취 장소는 돈사 중앙의 돈방 바닥에서 20 cm 깊이에서 채취하였다. 채취된 시료는 분석 전까지 -20℃에 보관하였다.

2. 악취물질 분석

휘발성유기물(Volatile Organic Compound : VOC) 분석용 시료는 Jensen et al.(1995)의 방법에 따라 준비되었고, 휘발성지방산(Volatile Fatty Acid : VFA)을 분석하기 위한 시료는 25% 인산용액으로 전처리하여 준비한 후 가스크로마토그래피(6890N, Agilent, USA)를 이용하여 분석되었다. 주입구과 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 사용하였다. 검출기는 두 물질 모두 FID(Flame Ionization Detector)를 이용하였다.

3. 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. 비육돈사의 슬러리에 함유된 휘발성유기물의 계절별 농도 비교

계절별 비육돈사의 슬러리에 함유된 페놀류와 인돌류 농도는 Table 1과 같다. 페놀류 농도는 봄, 여름 및 가을에 각각 155.9, 122.9 및 125.1 ppm으로 계절 간에 차이가 없었다(p>0.05). 페놀 농도는 봄, 여름 및 가을에 각각 30.6, 7.8 및 3.3 ppm으로 봄에 가장 높았고, 가을에 가장 낮았다(p<0.05). p-크레졸 농도는 봄, 여름 및 가을에 각각 125.3, 115.1 및 121.8 ppm으로 계절에 의한 차이가 없었다(p>0.05). 페놀농도가 계절별로 차이가 있었지만 페놀농도(3.3~30.6 ppm) 보다 p-크레졸 농도(115.1~125.3 ppm)가 상대적으로 높기 때문에 계절에 따른 페놀류의 악취강도 차이는 없을 것 같다. 인돌류 농도는 봄, 여름 및 가을에 각각 14.3, 5.4 및 7.6 ppm으로 여름과 가을은 차이가 없었으나 봄에는 높았다(p<0.05). 인돌 농도는 봄, 여름 및 가을에 각각 6.3, 0.7 및 1.2 ppm으로 봄철에 높았으며, 스카

Table 1. Effect of season on volatile organic compound from slurry of pigs

ppm	Season			SEM
	Spring	Summer	Autumn	
Phenol	30.6 ^a	7.8 ^b	3.3 ^c	2.1
p-Cresol	125.3	115.1	121.8	12.1
Phenols ¹⁾	155.9	122.9	125.1	13.0
Indole	6.3 ^a	0.7 ^b	1.2 ^b	0.6
Skatole	8.1 ^a	4.8 ^b	6.5 ^{ab}	0.6
Indoles ²⁾	14.3 ^a	5.4 ^b	7.6 ^b	1.1

¹⁾ Phenols = Phenol + p-Cresol

²⁾ Indoles = Indole + Skatole

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

톨 농도도 봄, 여름 및 가을에 각각 8.1, 4.8 및 6.5 ppm으로 봄철에 높았다 ($p < 0.05$). 인돌, 스카톨 그리고 이들의 합인 인돌류 농도가 여름과 가을보다 봄철에 더 높은 것은 온도, 환기 및 돈사내부로 유입되는 물의 양 차이에 의한 것으로 추정된다.

돈사 외부의 온도가 1°C 증가할 때마다 악취 발생량이 1% 증가되었으며, 돈사 내부 온도가 20°C에서 30°C로 10°C 증가되었을 때 암모니아와 악취의 휘산량이 각각 46%와 37% 증가되었다고 한다 (Smits et al., 1995). 우리나라의 경우 여름철의 온도가 봄과 가을보다 높기 때문에 악취물질이 분해되는 속도보다 생성되는 속도가 빠르지만 (Le et al., 2005), 환기율이 증가되기 때문에 슬러리의 악취농도가 감소 또는 증가되지 않았을 가능성이 있다. 돼지 슬러리를 농경지에 살포하였을 때 p-크레졸과 스카톨이 악취강도에 큰 영향을 끼친다는 연구결과를 고려하면 (Parker et al., 2013) 계절에 따른 휘발성유기물의 악취강도 차이는 크지 않을 것으로 판단된다.

2. 비육돈사의 슬러리에 함유된 휘발성지방산의 계절별 농도 비교

비육돈사의 슬러리에 함유된 단쇄지방산 (Short Chain Fatty Acid : SCFA)과 이성체지방산 (Branched Chain Fatty Acid : BCFA)의 농도를 계절별로 비교한 결과는 Table 2와 같다. 총 단쇄지방산의 농도는 봄, 여름 및 가을에 각각 10,233, 6,911 및 5,089 ppm으로 봄철에 가장 높았다 ($p < 0.05$). 아세트산 농도는 봄, 여름 및 가을에 각각 5,618, 4,773 및 3,250 ppm으로 봄에 가장 높았고, 가을에 가장 낮았다 ($p < 0.05$). 프로피온산 농도는 봄, 여름 및 가을에 각각

1,836, 1,380 및 1,502 ppm으로 계절에 의한 차이가 없었다 ($p > 0.05$). 부티르산 농도는 봄, 여름 및 가을에 각각 2,779, 759 및 337 ppm으로 봄철에 특히 높았다 ($p < 0.05$). 단쇄지방산의 경우 프로피온산을 제외하면 아세트산과 부티르산의 농도가 봄철에 높았다 ($p < 0.05$). 총 휘발성지방산 중에서 아세트산과 프로피온산의 비율이 각각 49~61, 16~29%로 이들 두 물질의 합이 65~90%의 범위를 차지하였다. 이성체지방산의 농도는 봄, 여름 및 가을에 각각 1,194, 973 및 727 ppm으로 계절별로 숫자적인 차이는 있지만 통계적인 차이는 없었다 ($p > 0.05$). I-부티르산과 I-발레르산의 농도도 각각 278~527, 448~666 ppm으로 봄철에 증가하고, 가을철에 낮아지는 경향을 보이고 있으나 통계적인 차이는 없었다 ($p > 0.05$). 이성체지방산의 경우 채취한 슬러리의 농도 변화가 높아 계절별로 유의적인 차이가 나타나지 않는 것 같다. 휘발성지방산의 계절별 농도 변화를 보면 봄철에 높고, 가을철에 낮은 경향을 보이고 있다. 이런 현상은 여름철 기온상승에 의한 악취 생성보다 환기에 의한 악취 휘산이 증가되었기 때문으로 판단된다.

휘발성지방산의 경우 악취강도가 높지 않은 단쇄지방산의 농도는 여름과 가을보다 봄철에 높았으나, 악취강도가 상대적으로 높은 이성체지방산의 농도는 계절별로 차이가 없었기 때문에 계절에 따라 휘발성지방산이 악취강도에 미치는 영향은 높지 않을 것으로 판단된다.

IV. 요약

비육돈사의 슬러리에 함유된 악취물질의 농도를 계절별로 비교하여 초지 및 농경지에 살포되는 분뇨의 악취강도를 예측하고자 수행되었다.

Table 2. Effect of season on volatile fatty acids from slurry of pigs

ppm	Season			SEM
	Spring	Summer	Autumn	
Acetic acid	5,618 ^a	4,773 ^{ab}	3,250 ^b	429
Propionic acid	1,836	1,380	1,502	142
Butyric acid	2,779 ^a	759 ^b	337 ^b	224
SCFA ¹⁾	10,233 ^a	6,911 ^b	5,089 ^b	716
I-Butyric acid	527	496	278	55
I-Valeric acid	666	478	448	54
BCFA ²⁾	1,194	973	727	108

¹⁾ SCFA (Short chain fatty acids) = Acetic acid + Propionic acid + Butyric acid.

²⁾ BCFA (Branched-chain fatty acids) = I-Butyric acid + I-Valeric acid.

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

1. 비육돈사의 슬러리에 함유된 휘발성유기물의 계절별 농도 비교

폐놀류 중 p-크레졸 농도는 봄, 여름 및 가을에 차이가 없었지만, 페놀, 인돌 및 스카톨 농도는 여름과 가을에 비해 봄에 높았다 ($p < 0.05$). 돼지 슬러리의 경우 p-크레졸과 스카톨이 악취강도에 큰 영향을 주기 때문에 계절에 따른 휘발성유기물의 악취강도 차이는 크지 않을 것으로 판단된다.

2. 비육돈사의 슬러리에 함유된 휘발성지방산의 계절별 농도 비교

휘발성지방산의 경우 악취강도가 높지 않은 단쇄지방산의 농도는 봄철이 여름과 가을보다 높았으나 ($p < 0.05$), 악취강도가 상대적으로 높은 이성체지방산의 농도는 계절별로 숫자적인 차이는 보였지만 통계적인 차이는 없었다 ($p > 0.05$). 계절에 따라 휘발성지방산이 악취강도에 미치는 영향은 높지 않을 것으로 판단된다.

결과적으로 봄철에 악취물질의 농도가 더 높은 것은 온도, 환기 및 돈사내부로 유입되는 물의 양에 의한 것으로 추정되며, 여름철은 슬러리에서 생성되는 악취농도 보다 환기에 의해 휘산되는 양이 많아서 슬러리의 악취농도가 감소되거나 증가되지 않았을 가능성이 있는 것으로 판단된다. 이상의 연구결과를 종합하면 비육돈사의 슬러리를 초지 또는 농경지에 살포하였을 때 계절에 의한 악취강도의 차이는 크지 않을 것으로 기대된다.

V. 사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ008606012014)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.

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.

Le, P.D., Aarnik, A.J.A., Ogink, N.W.M. and Verstegen, M.W.A. 2005. Effects of environmental factors on odor emission from pig manure. *American Society of Agricultural Engineers*. 48(2): 757-765.

MEV. 2006. Ministry of environment annual research report.

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.

Smits, M.C.J., Valk, H., Elzing, A. and Keen, A. 1995. Effect of protein nutrition on ammonia emission from a cubicle house for dairy cattle. *Livestock Production Science*. 44:147-156.

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.

Verdoes, N. and Ogink, N.W.M. 1997. Odour emission from pig houses with low ammonia emission. In *Proc. International Symposium on Ammonia and Odour Control from Pig Production Facilities*, I: 252-317. J. A. M. Voermans and G. J. Monteny, eds. Rosmalen, The Netherlands: NVTL.

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