

# 슬러리 환경개선물질이 초지환원용 양돈 슬러리의 악취물질 농도에 미치는 효과

조성백 · 황옥화 · 이준엽 · 김중곤 · 최동윤 · 박성권\*

농촌진흥청 국립축산과학원

## Effects of Horseradish, Spent Mushroom Compost and Almond Hull on Odorous Compound Concentration of Pig Slurry for Recycling in Grassland

Sung Back Cho, Ok Hwa Hwang, Jun Yeop Lee, Jong Kon Kim, Dong Yoon Choi and Sung Kwon Park\*

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

### ABSTRACT

This study investigated the effect of slurry additives on reducing the concentration of odorous compounds. Slurry treatments included control, horseradish, spent mushroom, and almond hull (n=4 each group). Odorous compounds including volatile organic compounds (VOCs phenols and indoles) and volatile fatty acids (VFAs short chain FA, SCFA, and branched chain FA, BCFA) were analyzed. Pigs of 85~120 kg body weight were fed diets formulated to meet the Korean Feeding Standard (2012) and their excretion was sampled from slurry pits. VOCs decreased ( $p<0.05$ ) in horseradish, spent mushroom, and almond hull, compared to the control. SCFA was lower ( $p<0.05$ ) in the horseradish group and BCFA was lower ( $p<0.05$ ) in all three treatment groups compared to the control. Taken together, the tested additives are effective in reducing odorous compounds in pig slurry, indicating that the use of spent mushroom and almond hull can not only recycle the agri-byproduct but also reduce the impact of odors on surrounding communities.

(Key words : Swine slurry, Odor, Horseradish, Spent mushroom Compost, Almond hull)

### I. 서 론

양돈 시설에서 발생하는 악취민원은 축산 시설을 대상으로 한 악취 민원의 54%를 차지할 정도로 문제가 되고 있다(Ministry of Environment, Korea, 2006). 또한 악취는 환경적인 문제뿐만 아니라 축산 농가와 인근주민 간에 마찰이 지속되면서 양돈 시설의 설치장소와 규모를 결정하는 핵심 사안이 되고 있다. 최근 연구결과에 따르면, 돼지에 이탈리아인 라이그라스 급여 시 대장에서 발효가 일어나 유기산이 생성되는데, 이는 악취원인 미생물이 잘 자라지 못해 악취가 줄어든다고 한다. 실제 rye나 rye-red clover 혼작에서 우분슬러리 시용으로 작물의 생산성 및 토양 유기물 향상에 효과를 본 결과도 발표되었다(Choi et al., 2008). 이러한 기술을 이용하여 악취가 줄어든 가축분뇨를 퇴·액비 등 유기질 자원으로 재활용하는 기술개발이 시급한 실정이다.

현재 많은 양돈 시설은 배설된 분과 뇨가 돈사 바닥 또는 슬랏 아래에 저장되어 있어서인데, 이로 인해 지속적으로 악취가 발생되고 있다. 분뇨에는 돼지의 체내에서 소화되지 않고 배설된 화합물, 내생의 최종 산물 및 장내 미생물 등이 포함되어 있다(Spoelstra et al., 1977; Williams and Evans, 1981; Sutton et al., 1999). 이렇게 배설된 분뇨가 돈사 내부에서 혐기적으로 발효되면서 다양한 악취물질이 발생되는데, 대표적으로 휘발성 지방산(VFA: Volatile Fatty Acid), 페놀류, 인돌류, 암모니아 등이다(Schaefer, 1977; Williams and Evans, 1981). 많은 악취물질 중에서도 페놀류와 인돌류는 각각 타이로신과 트립토판이 분해되어 생산되는 물질이며 악취 최소감지 농도가 매우 낮고, 축사와 멀리 떨어진 곳까지 이동하여 영향을 줄 정도로 강한 악취를 발생한다(Zahn et al., 2001; Conn et al., 2007; Parker et al., 2012).

양돈 농가에서는 악취를 줄이고자 생균제나 탈취제의 살

\* Corresponding author : Sung Kwon Park. Animal Environment Division, National Institute of Animal Science, RDA, Suwon 441-706, Korea, Tel: +82-31-290-1657, E-mail: maiky@korea.kr

포 및 악취제거장치의 설치 등의 방법을 사용하고 있다. 하지만 악취물질의 발생원인 및 주요한 악취물질에 대한 사전 조사가 이루어지지 않은 채 악취제거에만 치중하고 있어 악취저감기술이 지속적이고, 효과적으로 이용되지 않을 뿐만 아니라 경제적인 부담이 가중되고 있다. 따라서, 정확한 악취발생 원인을 파악하고 악취가 저감된 양돈 슬러리를 초지 및 사료작물에 환원한다면 토양을 건전하게 보전하고 생산성을 확보 할 수 있다. 최근에는 악취물질의 생성을 제어하기 위하여 돼지 슬러리의 미생물 활성을 조절하는 연구가 주목 받고 있다. 돼지 슬러리를 저장하게 되면 미생물은 탄수화물을 에너지원으로 이용하다가 부족해지면 단백질을 분해하게 되어 악취물질이 생성된다(Le et al., 2008). 그래서 돼지의 대장 및 슬러리의 발효환경을 개선하고자 헤미셀룰로오스, 셀룰로오스 등의 발효 탄수화물을 이용하여 악취물질을 조절하고 있다(Miller and Varel, 2003; Le et al., 2008; Li et al., 2009). 돼지에 발효 탄수화물을 급여하면 장내에 증가된 단쇄 지방산(SCFA : Short Chain Fatty Acid)에 의해 스카톨을 생산하는 미생물의 증식을 저해시켜 분뇨 내 스카톨 농도를 저감하는데 효과적이다(Overland et al., 2011).

고추냉이의 뿌리에는 peroxidase라는 효소가 포함되어 있는데, 이것은 슬러리의 방향족 화합물을 산화하여 독성과 냄새가 없는 다당류로 만든다(Klibanov et al., 1983). 팽이버섯폐배지에는 배지에 함유된 영양분의 약 80%가 남아있어 다량의 발효 탄수화물이 포함되어 있고(Williams et al., 2001), 아몬드피는 섬유소와 비섬유성 다당류가 풍부하여 슬러리의 발효환경을 조절하는데 효과적일 것이다(Getachew et al., 2004).

본 연구는 양돈 슬러리에 서양고추냉이 가루, 팽이버섯폐배지 및 아몬드피를 첨가하였을 때 악취물질 농도저감에 미치는 효과를 비교분석하기 위하여 수행되었다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 양돈 슬러리의 채취 및 배양

양돈 슬러리는 체중 85~120 kg의 돼지에 한국가축사양표준(2012)을 기준으로 돼지의 영양소 요구량에 맞추어 배합된 사료를 급여한 후 배설된 슬러리를 돈사 피트에서 채취하였다. 시험은 양돈 슬러리에 서양고추냉이 가루, 팽이버섯폐배지 및 아몬드피를 처리한 3처리구와 무처리구(대조구)로 이루어진 4처리구로 수행되었다. 돈사 피트와 유사한

모형의 20 L 아크릴 반응조에 슬러리 15 L를 채운 후 슬러리 양의 0.03%의 서양고추냉이 가루, 1%의 팽이버섯폐배지, 1%의 아몬드피를 각 처리구 당 4번복으로 처리하였고, 서양고추냉이 가루 처리구에는 3% 과산화수소 희석액을 추가로 첨가하였다. 반응조 상부에 공기를 분 당 15 mL씩 지속적으로 주입하면서 35℃에서 14일간 배양한 후 슬러리를 채취하여 휘발성 유기물(VOC : Volatile Organic Compound), VFA 및 암모니아태 질소(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N) 농도를 측정하였다.

### 2. 악취물질 분석

VOC 분석을 위한 시료는 Jensen et al.(1995)의 방법에 따라 전처리하여 준비하였고, VFA는 25% 인산용액으로 전처리하여 준비한 후 Gas Chromatography (6890N, Agilent, USA)를 이용하여 분석되었다. Inlet과 detector 온도는 250℃로 하였고, Split ratio는 VOC 5:1과 VFA 10:1로 설정하였다. Column은 직경 0.25 mm와 길이 30 m의 DB-1과 HP-INNOWax를 각각 사용하였다. 검출기는 두 물질 모두 FID(Flame Ionization Detector)를 이용하였다. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N은 암모니아를 황산용액에 흡수시키고 수산화나트륨 용액으로 적정하는 중화적정법으로 전처리하고 Kjeldahl 질소분해장치(1035 Analysis, Foss, Denmark)를 이용하여 분석되었다. pH는 pH meter (850C, Schott, Germany)를 이용하여 측정되었다.

### 3. 통계처리

모든 실험은 각각 4회 반복 실험을 수행하였으며, 실험 결과에 대한 통계분석은 SAS (Statistical Analysis System, 1996) package GLM(General Linear Model)을 이용하여 분산분석을 실시하였고, 평균간 차이는 Duncan (1995)의 다중검정법에 의해 95% 유의수준으로 분석하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 양돈 슬러리의 VOC 농도 변화

양돈 슬러리를 14일간 배양한 후 시료를 채취하여 페놀류, 인돌류 및 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 농도를 측정할 결과는 Table 1과 같다. 아몬드피, 고추냉이, 팽이버섯폐배지 및 대조구의 페놀류 농도는 각각 91.5, 93.1, 100.4, 및 100.7 ppm으로 아몬드피와 고추냉이 구에서 낮게 나타났다(p<0.05). Govere

et al. (2007)의 연구에서도 양돈 슬러리에 고추냉이 뿌리 원물을 10% 첨가한 후 2시간 동안 배양하였을 때, 페놀류 농도가 대조구에 비해 45% 저감되었다. 고추냉이에는 다량의 peroxidase가 함유되어 있는데, 이것은 방향족 화합물 중 특히 페놀류와 먼저 반응하여 무독성 및 무취의 물질로 산화시킨다(Klibanov et al., 1983; Ye et al., 2009).

인돌류 농도는 아몬드피, 팽이버섯폐배지, 대조구 및 고추냉이 구에서 각각 12.4, 14.3, 15.1, 및 15.2 ppm으로 아몬드피 구에서 가장 낮았다(p<0.05). 악취저감제들의 효과가 통계적으로 유의하게 나타났지만 수치상으로 현저히 감소는 되지 않아 향후 실용화 부분에 대한 추가 실험이 필요할 것으로 사료된다. Knarreborg et al. (2002)의 연구에서 발효탄수화물이 풍부한 비트펄프를 사료에 첨가하여 돼지에 급여하였을 때 분뇨로 배설되는 스카톨과 인돌의 농도가 감소되었다. 또한 사료 내 치커리 이눌린을 5% 첨가하여 급여하였을 때 돼지 분의 스카톨 농도가 감소되었고, 저항성 감자 전분을 사료에 첨가하여 급여하였을 때 인돌, 스카톨 및 p-크레졸의 휘산 농도가 감소되었다(Rideout et al., 2004; Willing et al., 2005). 이눌린과 감자전분에는 쉽게 발효되는 탄수화물이 많이 포함되어 있어 미생물에 의한 장내 트립토판의 분해를 저해하여 스카톨의 생성을 감소시키는 효능도 있다(Overland et al., 2011). 아몬드피는 비섬유성 탄수화물(NFC : Non-Fiber Carbohydrate) 54.3%와 중성세제불용성 섬유소(NDF : Neutral Detergent Fiber) 30.0%로 많은 발효탄수화물이 함유되어 있는데(Getachew et al., 2004), 슬러리 저장 동안 미생물 성장에 필요한 에너지 원으로 탄수화물이 지속적으로 공급됨으로써 탄수화물 발효가 유지되어 악취물질의 생성이 저해되었을 것으로 판단

된다. 또한 팽이버섯폐배지를 돼지 사료에 0.5% 첨가하여 비육돈에 급여하였을 때 슬러리의 스카톨 농도가 감소되었다는 연구결과도 있다(Lee et al., 2012). 위의 결과를 종합하면, 아몬드피와 팽이버섯폐배지는 슬러리에 부족한 발효 탄수화물을 공급해주어 인돌류와 같은 단백질 유래 악취물질의 생산을 감소시켰을 것으로 판단된다.

## 2. 양돈 슬러리의 VFA 농도 변화

양돈 슬러리에 환경개선물질을 처리한 후 VFA 농도를 분석한 결과는 Table 2와 같다. SCFA 농도는 고추냉이, 대조구, 팽이버섯폐배지, 아몬드피 구에서 각각 3,958, 4,240, 4,568, 4,743 ppm 으로 고추냉이 구에서 가장 낮았고, 팽이버섯폐배지와 아몬드피 구에서 높았다(p<0.05). SCFA 중 아세트산과 프로피온산은 각각 64%와 25%를 차지하고 있으며, 다른 연구에서도 총 VFA 중 아세트산이 60% 정도로 존재하였다(McGill and Jackson, 1977; Cooper and Cornforth, 1978; Spoelstra, 1980). SCFA는 주로 탄수화물이 발효되어 생산되는 물질이며(Le et al., 2005), 발효탄수화물이 많은 비트펄프를 양돈 슬러리에 1% 첨가하였을 때 SCFA 농도가 대조구에 비해 약 6% 증가되었다(Li et al., 2009). 팽이버섯폐배지(NDF 75.0%, NFC 6.9%)와 아몬드피(NDF 30.0%, NFC 54.3%)는 비트펄프(NDF 41.7%, NFC 38.3%)와 같이 발효 탄수화물이 많이 포함되어 있기 때문에(Getachew et al., 2004; Kim et al., 2007) 탄수화물 발효가 활발히 일어났을 것으로 추측된다. 그로 인해 팽이버섯폐배지와 아몬드피 구의 pH는 대조구에 비해 낮았다(p<0.05). 대조구는 팽이버섯폐배지와 아몬드피 구에 비해

Table 1. Effects of fermentable carbohydrate sources on the VOC concentration from swine slurry<sup>1)</sup>

| Odor Components (ppm) | Control            | Horseradish       | Spent Mushroom Compost | Almond Hull       | SEM  |
|-----------------------|--------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------|
| Phenol                | 13.7 <sup>a</sup>  | 13.9 <sup>a</sup> | 13.9 <sup>a</sup>      | 11.6 <sup>b</sup> | 0.17 |
| p-Cresol              | 87.0 <sup>a</sup>  | 79.3 <sup>b</sup> | 86.6 <sup>a</sup>      | 80.0 <sup>b</sup> | 0.69 |
| Indole                | 6.4 <sup>a</sup>   | 6.3 <sup>ab</sup> | 6.2 <sup>b</sup>       | 5.1 <sup>c</sup>  | 0.09 |
| Skatole               | 8.7 <sup>b</sup>   | 9.0 <sup>a</sup>  | 8.2 <sup>c</sup>       | 7.3 <sup>d</sup>  | 0.12 |
| Phenols <sup>2)</sup> | 100.7 <sup>a</sup> | 93.1 <sup>b</sup> | 100.4 <sup>a</sup>     | 91.5 <sup>b</sup> | 0.79 |
| Indoles <sup>3)</sup> | 15.1 <sup>a</sup>  | 15.2 <sup>a</sup> | 14.3 <sup>b</sup>      | 12.4 <sup>c</sup> | 0.20 |

<sup>1)</sup> 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%.

<sup>2)</sup> Phenols : Phenol + p-Cresol.

<sup>3)</sup> Indoles : Indole + Skatole.

<sup>a, b, c, d</sup> Figure with different superscripts within the same row are significantly different (p<0.05).

Table 2. Effects of Fermentable carbohydrate sources on the VFA, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N and pH from swine slurry<sup>1)</sup>

| Odor Components (ppm)           | Control            | Horseradish        | Spent Mushroom Compost | Almond Hull        | SEM   |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------|--------------------|-------|
| Acetic acid                     | 2,702 <sup>b</sup> | 2,508 <sup>c</sup> | 2,884 <sup>a</sup>     | 2,995 <sup>a</sup> | 42.61 |
| Propionic acid                  | 1,042 <sup>b</sup> | 974 <sup>b</sup>   | 1,142 <sup>a</sup>     | 1,198 <sup>a</sup> | 19.00 |
| Butyric acid                    | 497 <sup>b</sup>   | 475 <sup>b</sup>   | 542 <sup>a</sup>       | 550 <sup>a</sup>   | 7.90  |
| I-Butyric acid                  | 151 <sup>a</sup>   | 141 <sup>b</sup>   | 145 <sup>ab</sup>      | 143 <sup>ab</sup>  | 1.53  |
| I-Valeric acid                  | 302 <sup>a</sup>   | 280 <sup>b</sup>   | 282 <sup>b</sup>       | 277 <sup>b</sup>   | 3.22  |
| SCFA <sup>2)</sup>              | 4,240 <sup>b</sup> | 3,958 <sup>c</sup> | 4,568 <sup>a</sup>     | 4,743 <sup>a</sup> | 69.05 |
| BCFA <sup>3)</sup>              | 453 <sup>a</sup>   | 421 <sup>b</sup>   | 426 <sup>b</sup>       | 420 <sup>b</sup>   | 4.73  |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | 1,030 <sup>a</sup> | 871 <sup>b</sup>   | 942 <sup>ab</sup>      | 995 <sup>ab</sup>  | 26.09 |
| pH                              | 7.20 <sup>a</sup>  | 7.22 <sup>a</sup>  | 7.03 <sup>b</sup>      | 7.02 <sup>b</sup>  | 0.03  |

<sup>1)</sup> 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%.

<sup>2)</sup> SCFA : Acetic acid + Propionic acid + Butyric acid.

<sup>3)</sup> BCFA : I-Butyric acid + I-Valeric acid.

<sup>a, b, c, d</sup> Figure with different superscripts within the same row are significantly different (p<0.05).

SCFA 농도가 낮지만, 측쇄지방산(BCFA : Branched Chain Fatty Acid)의 농도는 높았다(p<0.05). BCFA는 단백질이 분해되어 생성되는 물질로서(Le et al., 2008), 대조구에는 탄수화물이 부족하여 단백질 발효가 많이 일어난 것으로 판단된다.

#### IV. 요약

본 연구는 양돈 슬러리의 악취물질 감소에 효과가 있는 것으로 확인된 물질의 효능을 비교분석하기 위하여 수행되었다. 페놀류 농도는 고추냉이와 아몬드피 구에서 낮았고, 인돌류 농도는 아몬드피 구에서 가장 낮았다(p<0.05). 따라서 슬러리에 아몬드피를 첨가하면 VOC 농도가 감소되었다. SCFA 농도는 팽이버섯폐배지와 아몬드피 구에서 높았고, BCFA 농도는 대조구에 비해 다른 모든 처리구에서 낮았다(p<0.05). 또한 슬러리의 pH는 팽이버섯폐배지와 아몬드피 구에서 낮았다(p<0.05). 따라서 팽이버섯폐배지 또는 아몬드피를 슬러리에 첨가하면 SCFA 농도는 증가되고 BCFA 농도는 감소되는 것으로 나타났다.

#### V. 사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ008606022013)의 지원에 의해 이루어진 것임

#### VI. REFERENCES

Annual Research Report, Ministry of Environment, Korea. 2006.

Choi, Y.S., Jung, M.W., Choi, K.C. and Yook, W.B. 2008. Effect of the application of cattle slurry on productivity and soil organic matter of rye and rye-red clover mixture. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 28:237-244.

Conn, K.L., Topp, E. and Lazarovits, G. 2007. Factors influencing the concentration of volatile fatty acids, ammonia and other nutrients in stored liquid pig manure. *Journal of Environmental Quality*. 36:440-447.

Cooper, P. and Cornforth, I.S. 1978. Volatile fatty acids in stored animal slurry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 29:19-27.

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

Getachew, G., Robinson, P.H., DePeters, E.J. and 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.

Govere, E.M., Tonegawa, M., Bruns, M.A., Wheeler, E.F., Kephart, K.B., Voigt, J.W. and Dec, J. 2007. Using minced horseradish roots and peroxides for the deodorization of swine manure: A pilot scale study. *Bioresource Technology*. 98:1191-1198.

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*. 61:3180-3184.
- Kim, Y.I., Bae, J.S., Jung, S.H., Ahn, M.H. and 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*. 49:79-88.
- 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.
- Knarreborg, A., Beck, J., Jensen, M.T., Laue, A., Agergaard, N. and Jensen, B.B. 2002. Effect of non-starch polysaccharides on production and absorption of indolic compounds in entire male pigs. *Animal Science*. 74:445-453.
- Korean Feeding Standard, swine, 2012, National Institute of Animal Science, RDA, Korea.
- Le, P.D., Aarnink, A.J.A., Ogink, N.W.M, Becker, P.M. and Verstegen, M.W.A. 2005. Odour from animal production facilities: its relationship to diet. *Nutrition Research Review*. 18:3-30.
- Le, P.D., Aarnink, A.J.A., Jongbloed, A.W., van der Peet-Schwering, C.M.C., Ogink, N.W.M. and Verstegen, M.W.A. 2008. Interactive effects of dietary crude protein and fermentable carbohydrate levels on odour from pig manure. *Livestock Science*. 114:48-61.
- 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. and Cho, S.B. 2012. The effect of horseradish powder and mushroom waste in fattening pig diet on odorous compound concentration from slurry. *Journal of Livestock House and Environment*. 18:35-40.
- Li, C.Y., Liu, J.X., Wang, Y.Z., Wu, Y.M., Wang, J.K. and Zhou, Y.Y. 2009. Influence of differing carbohydrate sources on L-tryptophan metabolism by porcine fecal microbiota studied *in vitro*. *Livestock Science*. 120:43-50.
- McGill, A.E.J. and Jackson, N. 1977. Changes in short chain carboxylic acid content and chemical oxygen demand of stored pig slurry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 28:424-430.
- Miller, D.N. and Varel, V.H. 2003. Swine manure composition affects the biochemical origins, composition, and accumulation of odorous compounds. *Journal of Animal Science*. 81:2131-2138.
- Overland, M., Kjos, N.K., Fauske, A.K., Teige, L. and Sorum, H. 2011. Easily fermentable carbohydrates reduce skatole formation in the distal intestine of entire male pigs. *Livestock Science*. 140:206-217.
- Parker, D.B., Lingshuang, C., Kim, K.H., Hales, K.E., Spiels, M.J., Woodbury, D.L., Atkin, A.L., Nickerson, K.W. and Patefield, K.D. 2012. Reducing odorous VOC emissions from swine manure using soybean peroxidase and peroxides. *Bioresource Technology*. 124:95-104.
- Rideout, T.C., Fan, M.Z., Cant, J.P., Wagner-Riddle, C. and Stonehouse, P. 2004. Excretion of major odor-causing and acidifying compounds in response to dietary supplementation of chicory inulin in growing pig. *Journal of Animal Science*. 82:1678-1684.
- SAS. 1996. SAS/STAT<sup>®</sup> software for PC. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Schaefer, J. 1977. Sampling characterization and analysis of malodours. *Agricultural Environment*. 3:121-127.
- Spoelstra, S.F. 1977. Simple phenols and indoles in anaerobically stored piggery wastes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 28:415-423.
- Spoelstra, S.F. 1980. Origin of objectionable odorous components in piggery wastes and the possibility of applying indicator components for studying odour development. *Agricultural Environment*. 5:241-260.
- Sutton, A.L., Kephart, K.B., Verstegen, M.W., Canh, T.T. and Hobbs, P.J. 1999. Potential for reduction of odorous compounds in swine manure through diet modification. *Journal of Animal Science*. 77:430-439.
- Williams, A.G. and Evans, M.R. 1981. Storage of piggery slurry. *Agricultural Wastes*. 3:11-321.
- Williams, B.C., McMullan, J.T. and McCahey, S. 2001. An initial assessment of spent mushroom compost as a potential energy feedstock. *Bioresource Technology*. 79:227-230.
- Willing, S., Losel, D. and Claus, R. 2005. Effects of resistant potato starch on odor emission from feces in swine production units. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 53:1173-1178.
- Ye, F.X., Zhu, R.F. and Li, Y. 2009. Deodorization of swine manure slurry using horseradish peroxidase and peroxides. *Journal of Hazardous Material*. 167:148-153.
- Zahn, J.A., Dispirotp, A.A., Do, Y.S., Brooks, B.E., Cooper, E.E. and Hatfield, J.L. 2001. Correlation of human olfactory responses to airborne concentration of malodorous volatile organic compounds emitted from swine effluent. *Journal of Environmental Quality*. 30:624-634.

(Received November 5, 2013 / Revised November 13, 2013 / Accepted November 15, 2013)