

## 비육돈 사료의 고추냉이 첨가수준별 분뇨의 악취물질 농도 변화

이강훈 · 황옥화 · 박규현 · 양승학 · 송준익 · 전중환 · 이준엽 · 오상집\* · 성하균\*\* ·  
최동윤 · 조성백  
농촌진흥청 국립축산과학원

### The Effect of Horseradish Powder Level in Fattening Pig Diet on Odorous Compound Concentration from Manure

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. and Cho, S. B.  
National Institute of Animal Science, RDA. Suwon 441-706, Korea

#### Summary

This study was performed to test the effect of horseradish powder in fattening pig diet on odorous compound concentration from manure. Twenty fattening boars [Landrace × Yorkshire] × Duroc] weighing an average body weight of  $68.4 \pm 4.95$  kg were randomly assigned to one of 4 treatments (horseradish level in diets: 0, 0.01, 0.02, 0.03%) based on their body weight. This experiment was a randomized complete block (RCB) design using 5 pigs per treatment with 1 pig per metabolizable cage. Pigs were fed experimental diet (amount proportional to 3% of their body weight) twice a day (09:00 and 16:00) for 7 d after having 14 d adaptation period. Experimental diets were mixed with water by 1:2.5 v/v. Concentration of volatile fatty acids (VFAs) was highest ( $p < 0.05$ ) when pigs fed diet with 0.02% horseradish powder. Level of phenol compounds including phenol and p-cresol were decreased ( $p < 0.05$ ) in 0.01~0.02% horseradish treatment group compared with control group. Concentration of indoles including indole and skatole was lowest ( $p < 0.05$ ) in 0.03% horseradish treatment group compare to others. Therefore, results from our current study suggest that the optimal levels of horseradish powder in diet for reducing phenol and indole compounds in pig manure were 0.02 and 0.03%, respectively.

**(Key words :** Horseradish, Feed, Odor, Phenol, Indole)

#### 서 론

사료가 소화기관을 통과하면 영양소가 가  
수분해되어 체내로 흡수된 다음 가축의 성장  
및 발달에 이용되는데, 이용되지 않은 영양

소와 내생 물질은 분과 뇨를 통해 배설된다.  
이렇게 배설된 물질들이 돈사 바닥 또는 슬  
랏 아래에서 저장되는 동안 혐기 미생물에  
의해 발효되면 악취물질이 생성된다 (Spoelstra,  
1977; Williams & Evans, 1981). 양돈시설에서

\* 강원대학교 (Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Korea)

\*\* (주)에드바이오텍 (Adbiotech Co. Ltd., Chun-Cheon, 200-880, Korea)

Corresponding author : Cho, S. B. Animal Environment Division, National Institute of Animal Science, RDA.

Suwon 441-706, Korea. Tel: 031-290-1712, E-mail: csb652@korea.kr

2012년 11월 12일 투고, 2012년 11월 29일 심사완료, 2012년 12월 6일 게재확정

발생되는 악취 민원이 지속적으로 증가되고 있는 추세에 있어 악취가 양돈시설의 설치장소와 규모를 결정하는데 중요한 역할을 하고 있다. 우리나라의 돈사형태는 대부분 개방식으로 악취저감을 위해 바이오필터와 같은 기계적인 기술을 적용하는데 한계가 있다. 그리고 악취물질은 작업자와 동물의 건강뿐만 아니라 생산성에도 영향을 미치기 때문에 (Tamminga, 1992), 악취물질의 근본적인 생성원인을 탐색하고 저감하는 연구가 필요하다. Schaefer (1977)와 Williams와 Evans (1981)는 축산시설에서 발생하는 악취의 지표물질로 휘발성지방산, 페놀, p-크레졸, 인돌, 스카톨을 제시하였다. Williams (1984)와 Hobbs 등 (1997)은 휘발성지방산류, 인돌류, 페놀류, 황화합물류를 포함하여 4종류의 악취물질 목록을 작성하였다. 악취물질인 페놀 화합물과 인돌 화합물은 대장 내 미생물이 L-타이로신과 L-트립토판을 분해하여 생성된다. 이 물질은 대장 점막을 통해 흡수되어 glucuronic acid와 결합한 후 간으로 이동하여 독성이 없는 물질인 glucuronide, sulphuric acid 및 무기태황으로 전변된다 (Smith와 Williams, 1966). 그런 다음 glucuronide는 뇨로 배설되고 분과 혼합되면 분의  $\beta$ -glucuronidase에 의해 분해되어 다시 페놀 화합물과 인돌 화합물을 생성하게 된다. 페놀 화합물 중 p-크레졸은 페놀에 비해 분뇨에 높은 농도로 존재하고, 인돌 화합물인 스카톨과 인돌의 농도는 서로 부의 상관관계를 가지고 있다 (Li 등, 2009). 페놀 화합물과 인돌 화합물은 악취감지 최소농도가 낮기 때문에 같은 농도의 다른 물질에 비해 냄새가 강하여 불쾌도가 높다. 또한 분뇨에서 휘발성지방산 (Volatile fatty acids; VFAs)의 분포를 살펴보면 총 휘발성지방산의 60% 정도는 아세트산이고, 다음으로 프로피온산, 부티르산, 이소부티르산, 이소발레르산 순이다 (McGill와 Jackson, 1977; Cooper와 Cornforth, 1978; Spoelstra, 1980). 휘발성지방산은 탄소

수가 적을 때보다 많은 경우에 더 낮은 악취감지 최소농도를 가져서 불쾌도가 높다 (Mackie, 1994). 돼지 분뇨는 불쾌도가 낮은 단쇄지방산의 비율이 높기 때문에 휘발성지방산의 농도가 높아도 악취가 심하게 발생되지 않을 수 있다. 단쇄지방산 중 아세트산, 프로피온산 및 부티르산은 돼지 분에 함유된 탄수화물이 분해되어 생성되고, 이소부티르산 및 이소발레르산과 같은 측쇄지방산은 단백질에서 유래된다. 또한 단쇄지방산은 L-글루타메이트, L-라이신 및 L-알라닌과 같은 아미노산의 탈아미노반응에 의해 생산될 수 있다. 본 연구에 이용된 서양고추냉이 (*Armoracia rusticana* L.)는 뿌리에 다량의 퍼옥시다아제 (peroxidase)를 함유하고 있는데, 이것은 슬러리의 방항축화합물을 산화시켜 독성과 냄새가 없는 당류로 만드는 능력을 가지고 있다 (Klibanov 등, 1983). 특히 퍼옥시다아제는 양돈 슬러리의 페놀 화합물 (Govere 등, 2007) 및 인돌 화합물 (Ye 등, 2009)의 농도를 줄이는데 효과적이다. 그런데 산화율의 관점에서 보면 페놀 화합물이 인돌 화합물보다 먼저 반응되는 기질이기 때문에, 서양고추냉이는 페놀화합물 특히 p-크레졸의 농도를 줄이는데 매우 효과적 이라고 한다 (Ye 등, 2009). 본 연구는 서양고추냉이를 비육돈에 급여하여 분뇨에서 발생하는 악취물질의 농도변화를 조사하고자 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험 디자인, 동물 및 사료

평균체중  $68.4 \pm 4.95$  kg의 비육돈 수컷 20두 [(렌드레이크스 × 요크셔) × 듀록]를 처리 당 5두씩으로 하여 4처리 (서양고추냉이 분말 첨가수준 : 0, 0.01, 0.02, 0.03%)에 난괴법 (RCB)으로 대사케이지에 1두씩 배치하였다. 대사케이지 ( $1.6 \times 0.8$  m<sup>2</sup>)는 플라스틱 슬랏바닥, 급이기 및 급수기를 가지고 있으며, 돈사 온도

Table 1. Formula of the experimental diets

| Ingredients (%)               | Horseradish (%) |        |        |        |
|-------------------------------|-----------------|--------|--------|--------|
|                               | 0.0             | 0.01   | 0.02   | 0.03   |
| Corn, yellow                  | 68.31           | 68.30  | 68.29  | 68.28  |
| Italian ryegrass, power       | 0.75            | 0.75   | 0.75   | 0.75   |
| Horseradish, power            | 0.00            | 0.01   | 0.02   | 0.03   |
| Soybean oil                   | 1.64            | 1.64   | 1.64   | 1.64   |
| Molasses                      | 2.01            | 2.01   | 2.01   | 2.01   |
| Soybean meal                  | 24.48           | 24.48  | 24.48  | 24.48  |
| Limestone                     | 0.45            | 0.45   | 0.45   | 0.45   |
| DCP                           | 1.56            | 1.56   | 1.56   | 1.56   |
| Mineral Mixture <sup>1)</sup> | 0.20            | 0.20   | 0.20   | 0.20   |
| Vitamin Mixture <sup>2)</sup> | 0.20            | 0.20   | 0.20   | 0.20   |
| Salt                          | 0.30            | 0.30   | 0.30   | 0.30   |
| Endo power <sup>3)</sup>      | 0.05            | 0.05   | 0.05   | 0.05   |
| Bioplus 2B <sup>4)</sup>      | 0.05            | 0.05   | 0.05   | 0.05   |
| Total                         | 100.00          | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Composition calculated        |                 |        |        |        |
| Protein (%)                   | 16.5            | 16.5   | 16.5   | 16.5   |
| DE (kcal/kg)                  | 3450            | 3450   | 3450   | 3450   |
| Fiber (%)                     | 3.40            | 3.40   | 3.40   | 3.40   |
| Ca (%)                        | 0.80            | 0.80   | 0.80   | 0.80   |
| P (%)                         | 0.65            | 0.65   | 0.65   | 0.65   |
| Lysine (%)                    | 0.87            | 0.87   | 0.87   | 0.87   |
| Methionine (%)                | 0.27            | 0.27   | 0.27   | 0.27   |
| Treonine (%)                  | 0.63            | 0.63   | 0.63   | 0.63   |
| Tryptophan (%)                | 0.19            | 0.19   | 0.19   | 0.19   |

<sup>1)</sup> Provided the following per kilogram of diet : choline chloride 700 mg, selenium 0.15 mg, manganese 0.03 g, zinc 0.1 g, iron 0.1 g, iodine 0.5 mg, magnesium 0.1 g.

<sup>2)</sup> Provided the following amounts per kilogram of diet : vitamin A 5,500 IU; vitamin D<sub>3</sub> 550 IU; vitamin E 27 IU; menadione sodium bisulfate 2.5 mg; pantothenic acid 27 mg; niacin 33 mg; riboflavin 5.5 mg; vitamin B<sub>12</sub> 0.04 mg; thiamin 5 mg; pyridoxine 3 mg; biotin 0.24 mg; folic acid 1.5 mg; choline chloride 700 mg.

<sup>3)</sup> Provided per kilogram of diet;  $\alpha$ -galactosidase, Galactomannanase, Xylanase,  $\beta$ -glucanase,  $\alpha$ -amylase etc.

<sup>4)</sup> Provided per kilogram of diet; Bacillus subtilis, Bacillus licheniformis.

는 자동조절 열풍기 및 배기팬을 이용하여 약 25°C를 유지하였다. 모든 사료는 가루 형태로 급여하였고, 한국돼지사양표준(2007)의 영양소 요구량을 충족하였다. 시험사료의 에너지(DE), 아미노산, 광물질 등 영양소 함량을 비슷하게 하였다.

1일 2회(09:00, 16:00) 급여 하였는데, 물과 사료를 중량기준으로 2.5:1로 혼합하여 급여 하였다. 돼지 개체별로 분뇨량이 비슷하도록 하기위해 사료와 물의 섭취량을 같게 하였고, 물을 추가적으로 공급하지 않았다. 사료 급여량은 매일 측정되었으며, 체중은 시험개시와 종료 시에 측정되었다.

## 2. 사료급여

돼지는 14일간의 사료 적응기를 거쳐 7일간 분시험에 공시되었다. 체중의 3% 사료를

## 3. 분뇨 채취 및 분석

시험기간 동안 대사케이지 아래의 분뇨를

Table 2. Gas chromatography analysis condition

|           |                  |                            |
|-----------|------------------|----------------------------|
| Injection | Injection volume | 2 $\mu$ l                  |
| Inlet     | Temperature      | 250 °C                     |
|           | Split ratio      | 5:1                        |
| Column    | Flow             | 1.0 mL/min                 |
|           | DB-5ms           | 30m, 0.25 mm, 0.25 $\mu$ m |
| Detector  | Temperature      | FID, 250 °C                |

이를 이용하여 1일 2회 개체별로 분뇨를 채취하였다. 채취한 분뇨는 10L 통에 넣고 분석 전까지 -20°C에 보관하였고, 악취물질 분석 전에 증류수와 슬러리를 1:1로 희석하여 이용하였다. Flickinger 등 (2003)의 방법에 따라 Gas Chromatography (6890N, Agilent, USA)를 이용하여 휘발성 유기물 (Volatile organic compound; VOC) 농도를 분석하였다 (Table 2).

4. 통계처리

모든 실험은 각각 3회의 반복 실험을 수행하였다. 실험결과에 대한 통계분석은 SAS (Statistical Analysis System, 1996) package GLM (General Linear Model)을 이용하여 분산 분석을 실시하였고, 평균간 차이는 Duncan (1955)의 다중검정법에 의해 95% 유의수준으로 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 서양고추냉이 수준별 분뇨의 단쇄지방산 농도 변화

서양고추냉이 분말을 사료에 혼합하여 돼지에 급여한 후 분뇨의 단쇄지방산 농도를 측정된 결과는 Table 3과 같다. 아세트산, 프로피온산, 부티르산 및 이들 단쇄지방산의 합은 사료에 고추냉이를 0.02% 혼합했을 때 가장 높았다 (p<0.05). 또한 이소부티르산, 이소발레르산 및 이들 측쇄지방산의 합도 고추냉이를 사료에 0.02% 혼합했을 때 가장 높았다 (p<0.05). 고추냉이 분말을 사료에 0.02% 혼합했을 때보다 0.03% 혼합했을 때 단쇄지방산의 농도가 낮았는데 (p<0.05), 이와 같은 결과의 원인은 알 수 없었다. 휘발성지방산은 탄소수가 많을 때보다 적을 때 더 높은 악취감지 최소농도를 가지기 때문에 (Mackie,

Table 3. Effect of horseradish level in the diet on the short chain fatty acid concentration from manure of pigs

|                      | Control             | Horseradish (%)    |                    |                    | SE    |
|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
|                      |                     | 0.01               | 0.02               | 0.03               |       |
| Acetic acid          | 3,628 <sup>ab</sup> | 3,493 <sup>b</sup> | 4,358 <sup>a</sup> | 3,518 <sup>b</sup> | 1,021 |
| Propionic acid       | 470 <sup>b</sup>    | 423 <sup>b</sup>   | 604 <sup>a</sup>   | 471 <sup>b</sup>   | 135   |
| Butyric acid         | 362 <sup>b</sup>    | 341 <sup>b</sup>   | 556 <sup>a</sup>   | 415 <sup>b</sup>   | 155   |
| i-Butyric acid       | 75 <sup>b</sup>     | 100 <sup>a</sup>   | 110 <sup>a</sup>   | 68 <sup>b</sup>    | 25    |
| i-Valeric acid       | 192 <sup>c</sup>    | 259 <sup>b</sup>   | 316 <sup>a</sup>   | 183 <sup>c</sup>   | 73    |
| SCFA <sup>1)</sup>   | 4,460 <sup>b</sup>  | 4,257 <sup>b</sup> | 5,518 <sup>a</sup> | 4,404 <sup>b</sup> | 1,294 |
| I-SCFA <sup>2)</sup> | 267 <sup>b</sup>    | 359 <sup>a</sup>   | 425 <sup>a</sup>   | 251 <sup>b</sup>   | 96    |

<sup>1)</sup> SCFA = acetic acid + propionic acid + butyric acid

<sup>2)</sup> I-SCFA = i-butyric acid + i-valeric acid

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

Table 4. Effect of horseradish level in the diet on the volatile organic compounds concentration from manure of pigs

|                       | Control             | Horseradish(%)      |                     |                     | SE   |
|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|
|                       |                     | 0.01                | 0.02                | 0.03                |      |
| Phenol                | 10.75 <sup>b</sup>  | 22.91 <sup>a</sup>  | 28.16 <sup>a</sup>  | 11.99 <sup>b</sup>  | 10.3 |
| p-Cresol              | 161.09 <sup>a</sup> | 116.53 <sup>b</sup> | 102.18 <sup>b</sup> | 163.53 <sup>a</sup> | 28.4 |
| Indole                | 8.16 <sup>b</sup>   | 8.76 <sup>b</sup>   | 10.83 <sup>a</sup>  | 3.96 <sup>c</sup>   | 2.5  |
| Skatole               | 2.46 <sup>a</sup>   | 1.69 <sup>b</sup>   | 1.57 <sup>b</sup>   | 2.79 <sup>a</sup>   | 0.6  |
| Phenols <sup>1)</sup> | 171.84 <sup>a</sup> | 139.43 <sup>b</sup> | 130.34 <sup>b</sup> | 175.52 <sup>a</sup> | 25.5 |
| Indoles <sup>2)</sup> | 10.62 <sup>a</sup>  | 10.45 <sup>a</sup>  | 12.40 <sup>a</sup>  | 6.75 <sup>b</sup>   | 2.6  |

<sup>1)</sup> Phenols = phenol + p-cresol

<sup>2)</sup> Indoles = indole + skatole

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

1994), 돼지 분뇨에서는 단쇄지방산의 농도가 높아도 악취강도는 높지 않을 수 있다.

## 2. 서양고추냉이 수준별 분뇨의 휘발성유기물 농도 변화

서양고추냉이 분말을 사료에 혼합하여 돼지에 급여한 후 분뇨의 휘발성유기물 농도를 측정된 결과는 Table 4와 같다. 사료에 고추냉이를 0.01~0.02% 첨가하였을 때 페놀 농도는 증가하였으나 (p<0.05). p-크레졸 농도는 감소하였다 (p<0.05). 그러나 페놀보다 p-크레졸의 상대적인 농도가 높아 이 두 물질을 합한 페놀류의 농도는 대조구보다 낮았다 (p<0.05). 사료에 고추냉이를 0.03% 첨가하였을 때, 인돌과 인돌류의 농도가 가장 낮았다 (p<0.05). 결론적으로 양돈 슬러리에서 페놀류 농도를 줄이기 위해서는 사료에 서양고추냉이를 0.02% 이하로 첨가하되, 인돌류 농도를 줄이기 위해서는 서양고추냉이를 0.03% 정도 첨가하여야 될 것으로 평가되었다.

서양고추냉이의 뿌리에 많이 함유되어 있는 퍼옥시디아아제는 슬러리의 방향족화합물을 산화시켜 냄새를 줄인다고 하였으나 (Klibanov 등, 1983) 퍼옥시디아아제의 작용을 촉매하는 과산화수소 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)와 같은 화학물질 등을 사료로 공급할 수 없어 효능이 감소되는 것 같

다. 그러나 사료에 고추냉이를 0.03%까지 첨가했을 때 페놀류와 인돌류 농도가 대조구보다 감소 또는 비슷한 수준으로 검출되었기에 악취저감 효과는 있었다.

## 적 요

서양고추냉이를 비육돈에 급여하여 분뇨에서 발생하는 악취물질의 농도변화를 조사하였다.

1. 서양고추냉이 분말을 사료에 혼합하여 돼지에 급여한 후 분뇨의 단쇄지방산 농도를 측정된 결과, 사료에 고추냉이를 0.02% 혼합했을 때 아세트산, 프로피온산, 부티르산, 이소부티르산, 이소발레르산, SCFA 및 I-SCFA 농도가 가장 높았다 (p<0.05).

2. 페놀과 p-크레졸을 합한 페놀류 농도는 고추냉이를 0.01~0.02% 첨가하였을 때 대조구보다 감소하였다 (p<0.05). 인돌과 스카톨을 합한 인돌류 농도는 사료에 고추냉이를 0.03% 첨가하였을 때 가장 낮았다 (p<0.05).

3. 따라서 분뇨의 페놀류 농도를 줄이기 위해서는 사료에 고추냉이를 0.02% 이하로 첨가하고, 인돌류 농도를 줄이기 위해서는 사료에 고추냉이를 0.03% 정도 첨가하여야 할 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

1. Cooper, P. and Cornforth, I. S. 1978. Volatile fatty acids in stored animal slurry. *J. Sci. of Food and Agric.* 29:19-27.
2. Duncan, D. B. 1955. Multiple range and multiple F test. *Biometrics.* 11:1-42.
3. Flickinger, E. A., Schreijen, E. M. W. C., Patil, A. R., Hussein, H. S., Grieshop, C. M., Merchen, N. R. and Fahey Jr., G. C. 2003. Nutrient digestibilities, microbial populations, and protein catabolites as affected by fructan supplementation of dog diets. *J. Anim. Sci.* 81:2008-2018.
4. Govere, E. M., Tonegawa, M. A. Bruns, E. F. Wheeler, K. B. Kephart, J. W. Voigt, J. Dec. 2007. Using minced horseradish roots and peroxides for the deodorization of swine manure: a pilot scale study. *Biores. Technol.* 98:1191 - 198.
5. 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. *J. Sci. of Food and Agric.* 437-445.
6. Klibanov, A. M., Tu, T. M. and Scott, K. P. 1983. Peroxidase-catalyzed removal of phenols from coal-conversion wastewaters. *Science* 221:259-260.
7. 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*. *Lives. Sci.* 120:43-50.
8. Mackie, R. I. 1994. Microbial production of odor components. In International round table on swine odor control. pp. 18-19. Ames, IA, USA.
9. McGill, A. E. J. and Jackson, N. 1977. Changes in short chain carboxylic acid content and chemical oxygen demand of stored pig slurry. *J. Sci. of Food and Agric.* 28:424-430.
10. SAS. 1996. SAS/STAT<sup>®</sup> software for PC. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
11. Schaefer, J. 1977. Sampling, characterization and analysis of malodours. *Agric. Environ.* 3:121-127.
12. Smith, R. L. and Williams, R. T. 1966. Glucuronic Acid. Free and Combined. New York and London: Academic Press.
13. Spoelstra, S. F. 1977. Simple phenols and indoles in anaerobically stored piggery wastes. *J. Sci. of Food and Agric.* 28:415-23.
14. Spoelstra, S. F. 1980. Origin of objectionable odorous components in piggery wastes and the possibility of applying indicator components for studying odour development. *Agric. Environ.* 5:241-260.
15. Tamminga, S. 1992. Gaseous pollutants by farm animal enterprises. In *Farm animals and the Environment*, pp. 345-357 [C Phillips and D Piggins, editors]. Wallingford, U.K: CAB International.
16. Williams, A. G. and Evans, M. R. 1981. Storage of piggery slurry. *Agricultural Waste.* 3:311-321.
17. Williams, A. G. 1984. Indicators of piggery slurry odour offensiveness. *Agricultural Waste* 10:15-36.
18. Ye, F. X, Zhu, R. F. and Li, Y. 2009. Deodorization of swine manure slurry using horseradish peroxidase and peroxides. *J. Hazard. Mater.* 167:148 - 153.
19. 한국돼지사양표준. 2007. 농촌진흥청 국립축산과학원.