# 발효탄수화물 첨가 사료가 양돈 슬러리의 휘발성 지방산과 휘발성 유기화합물 농도에 미치는 효과

조성백 · 양승학 · 이준엽 · 곽정훈 · 최동윤 · 황옥화*
농촌진흥청 국립축산과학원

# Effect of Fermentable Carbohydrate in Diet on the Concentration of Volatile Fatty Acid and Volatile Organic Compound in Pig Slurry

Sung-Back Cho, Seung-Hak Yang, Jun-Yeop Lee, Jeong-Hoon Kwag, Dong-Yun Choi, Ok-Hwa Hwang*
National Institute of Animal Science, RDA. Suwon 441-706, Korea

## ABSTRACT

This study was performed to investigate the effect of beet plup and IRG (Italian ryegrass) dry powder in fattening pig diet on reducing concentration of odorous compounds in the pig slurry. Fifty fattening boars [(Landrace × Yorkshire) × Duroc] were randomly assigned to one of 3 treatments (control, beet plup 5%, and IRG 5%). Pigs (BW 50~110 kg) were fed diets formulated to meet the Korean Feeding Standard (2012) and their excretion was collected from the slurry pits. Short chain fatty acid (SCFA) and branched chain fatty acid (BCFA) were higher in beet plup (31,786, 3,985 ppm) and IRG (32,755, 4,261 ppm) treatments, which was not different among treatments ($p>0.05$), compared to control ($p<0.05$). Concentrations of phenols and indoles were highest in beet plup (183.83, 168.59 ppm) and IRG (9.32, 8.92 ppm) treatments. Altogether, addition level of two contents was not appropriate to decrease concentration of odorous compounds.
(**Key words :** Italian ryegrass, Volatile organic compound, Volatile fatty acid, Pig slurry, Odor)

## 서 론

가축이 급여한 사료의 영양소가 분과 뇨로 배설되면 혐기발효되어 악취물질이 생성된다 (Spoelstra, 1977; Williams and Evans, 1981). 이들이 모여서 농촌의 환경을 오염시키고 있기 때문에 지속가능한 축산을 위해서는 반드시 악취를 제어하여야 한다. 돈사악취를 구성하는 주요 악취물질은 황화합물류, 페놀류, 인돌류 등이며 (Le et al., 2005), 이들의 생성경로는 휘발성지방산 (Volatile fatty acid; VFA)의 생성경로와 같기 때문에 VFA 농도가 분뇨의 휘발성유기물 (Volatile organic compound; VOC) 농도의 지표로 이용되고 있다 (Zhu et

*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
2013년 11월 10일 투고, 2013년 12월 18일 심사완료, 2013년 12월 21일 게재확정

al., 1999). 아세트산, 프로피온산 및 부티르산은 탄수화물과 단백질이 분해되어 생성된다 (Rasmussen et al., 1988; Sutton et al., 1999). 그러나 i-발레르산과 i-부티르산 같은 이성체 지방산은 발린, 류신, 이소류신과 같은 측쇄 아미노산의 탈아미노 및 탈카르복실 반응에 의해 생성된다 (Mackie et al., 1998). 양돈분뇨의 C/N 비율을 높이도록 발효탄수화물이 사료나 분뇨에 첨가되면 VFA 중에서 측쇄지방산 (Branched-chain fatty acid; BCFA)의 비율이 감소된다 (Conn et al., 2007). 돼지의 대장의 발효환경을 개선하고자 헤미셀룰로오스, 셀룰로오스 등의 발효탄수화물을 이용하여 악취물질을 조절하는 연구가 수행되고 있다 (Le et al., 2008; Li et al., 2009).

본 연구는 비육돈 사료에 이탈리안 라이그라스 건초 가루와 비트펄프를 첨가하여 돼지에 급여한 후 슬러리에서 발생되는 악취물질의 농도를 비교하기 위하여 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험 디자인

시험구는 대조구, 비트펄프구, IRG구로 하여 3개 처리로 구성되었다. 처리구당 1개 돈방에 개시체중 50 kg의 육성비육돈 40두 [(렌드레이스 × 요크셔) × 듀록]를 배치하였다. 시험사료는 관행사료에 비트펄프를 5% 첨가 또는 IRG 건초가루를 5% 첨가하여 배합하였다. 시험기간 12주 동안 자유채식으로 급여하고 3주 간격으로 체중과 사료섭취량을 측정하였다.

### 2. 악취물질 분석

악취물질 분석용 슬러리는 3주 간격으로 돈방 바닥의 20 cm 아래에서 수중 펌프를 이용하여 채취하였다. VFA, VOC, 암모니아태 질소 ($NH_4^+$-N)를 측정하였다. VFA를 분석하기 위한 시료는 25% 인산용액을 이용하여 전처리 한 후 준비되었고, VOC 분석용 시료는 Jensen et al. (1995)의 방법에 따라 준비한 후 Gas Chromatography (6890N, Agilent, USA)를 이용하여 분석되었다. Inlet과 detector의 온도는 250℃로 하였고, Split ratio는 VFA 10:1과 VOC 5:1로 설정하였다. column은 직경 0.25 mm, 길이 30 m의 HP-INNOWax와 DB-1을 각각 사용하였다. 검출기는 두 물질 모두 Flame Ionization Detector (FID)를 이용하였다. $NH_4^+$-N은 시료 내 암모니아를 황산용액에 흡수시키고 수산화나트륨 용액으로 적정하는 중화적정법으로 전처리하고 킬달질소 분해장치 (1035 Analysis, Foss, Denmark)를 이용하여 분석되었다.

### 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.

## 결과 및 고찰

### 1. 슬러리의 VFA 농도 변화

비트펄프와 IRG 건초가루를 사료에 첨가하여 급여한 후 돈사 피트에서 슬러리를 채취하여 VFA의 농도를 분석한 결과는 Table 1과 같다. SCFA 농도는 대조구, 비트펄프구,

Table 1. Effect of fermentable carbohydrate source on the VFA concentration from pig slurry.

| Parameter | Fermentable carbohydrate source | | | MS |
|---|---|---|---|---|
| | Control | Beet pulp | IRG | |
| Acetic acid | 5266[c] | 17827[b] | 21591[a] | 5093.04 |
| Propionic acid | 5474[b] | 7216[a] | 7433[a] | 2297.80 |
| Butyric acid | 2352[c] | 6742[a] | 3731[b] | 1787.62 |
| i-Butyric acid | 939[b] | 1746[a] | 1766[a] | 507.84 |
| i-Valeric acid | 1521[b] | 2239[a] | 2496[a] | 711.72 |
| SCFA | 13092[b] | 31786[a] | 32755[a] | 6973.66 |
| BCFA | 2459[b] | 3985[a] | 4261[a] | 1210.11 |
| $NH_4^+$-N | 741[b] | 1286[a] | 1200[a] | 223.34 |

Short Chain Fatty Acid & Branched Chain Fatty Acid = Acetic acid + Propionic acid + Butyric acid. + i-Butyric acid + i-Valeric acid.
[a, b, c, d] Figures with different superscripts within the same row are significantly different ($p<0.05$).

IRG구에서 각각 13,092, 31,786, 32,755 ppm으로 대조구에서 가장 낮았다 ($p<0.05$). BCFA 농도는 SCFA 농도와 동일한 경향을 보이며, 비트펄프구와 IRG구에서 각각 3,985, 4,261 ppm으로 대조구보다 높았다 ($p<0.05$). 사료 내 발효탄수화물을 필요한 양보다 많이 첨가해주었기에 VFA의 농도가 증가되었을 것으로 판단된다.

## 2. 슬러리의 VOC 농도 변화

페놀류 및 인돌류 농도는 Table 2와 같다. 페놀류 농도는 비트펄프구 183.83 ppm, IRG구 168.59 ppm으로 대조구 (133.29 ppm)에 비해 높았다 ($p<0.05$). 인돌류도 페놀류와 동일한 결과를 보이며 비트펄프구 (9.32 ppm)와 IRG구 (8.92 ppm)에서 대조구에 비해 높은 농

Table 2. Effect of fermentable carbohydrate source on the VOC concentration from pig slurry.

| Parameter | Fermentable carbohydrate source | | | MS |
|---|---|---|---|---|
| | Control | Beet pulp | IRG | |
| Phenol | 3.45[b] | 9.78[a] | 9.03[a] | 2.51 |
| p-Cresol | 129.82[b] | 174.05[a] | 159.56[ab] | 54.95 |
| Indole | 0.57[c] | 2.29[a] | 1.51[b] | 0.74 |
| Skatole | 1.56[b] | 7.03[a] | 7.41[a] | 1.19 |
| Phenols[†] | 133.27[b] | 183.83[a] | 168.59[a] | 56.04 |
| Indoles[‡] | 2.12[b] | 9.32[a] | 8.92[a] | 1.79 |

[†] Phenols = Phenol + p-Cresol.
[‡] Indoles = Indole + Skatole.
[a, b, c, d] Figures with different superscripts within the same row are significantly different ($p<0.05$).

도를 보였다 ($p<0.05$). 페놀류 및 인돌류 농도는 비트펄프구와 IRG 구간에 유의적인 차이가 없었다 ($p>0.05$). 사탕수수 비트펄프가 풍부한 사료를 먹은 돼지의 대장에서는 미생물의 단백질 합성을 위해 아미노산이 요구되기 때문에 상대적으로 트립토판이 스카톨과 인돌로 전환되는 비율이 감소하여 분뇨에서 인돌과 스카톨 농도가 낮았다 (Knarreborg et al., 2002). 그러나 본 연구에서는 사료내 과량으로 첨가되어 인돌류의 농도가 증가되었을 것으로 판단된다.

악취 감지는 악취 물질들이 실제 공기 중으로 배출되었을 때 후각에 의해 인지되는 것이므로 양돈 슬러리에 존재하는 악취물질 농도와 돈사 내 공기 시료에 포함된 악취물질 농도를 상호 비교하는 추가 연구가 필요할 것 같다. 또한 본 연구에서 수행된 발효탄수화물 종류별 악취물질 농도 변화 외에도 발효탄수화물의 첨가 수준별 양돈 슬러리내 VFA와 VOC의 농도 변화 패턴을 구명하는 연구의 추가가 필요할 것으로 판단된다.

## 결 론

본 연구는 비육돈 사료에 비트펄프와 IRG 건초분말을 첨가하여 돼지에 급여한 후 슬러리의 악취물질 농도를 비교하기 위하여 수행되었다.

SCFA, BCFA, 페놀류 및 인돌류 농도는 대조구에 비해 비트펄프구와 IRG구에서 높았으며, 처리구간에는 유의차가 없었다. 사료 내 발효탄수화물의 첨가 수준이 높아 악취물질의 농도가 오히려 증가된 것으로 판단된다. 따라서 사료 내 영양소 수준에 맞게 발효탄수화물 첨가비율을 최적화한다면 악취농도를 크게 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

## 사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ00923502)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## 인 용 문 헌

1. Arogo, J., Westerman, P.W., Heber, A.J., 2003. A review of ammonium emissions from confined swine feeding operations. Trans. ASAE 46, 805-817.
2. Bakke, O.M., 1969. Urinary simple phenols in rats fed diets containing different amounts of casein and 10% tyrosine. J. Nut. 98, 217-221.
3. Beard, W.L., Guenzi, W.D., 1983. Volatile sulfur compounds from a redox-controleed-cattle-manure slurry. J. Environ. Qual. 12, 113-116.
4. Conn, K.L., Tenuta, M., Lazarovits, G., 2005. Liquid swine manure can kill *Verticillium dahliae* microsclerotia in soil by volatile fatty acid, nitrous acid, and ammonia toxicity. Phytopathology. 95, 28–35.
5. Conn, K.L., Topp, E., Lazarovits, G., 2007. Factors influencing the concentration of volatile fatty acids, ammonia and other nutrients in stored liquid pig manure. J. Environ. qual. 36, 440-447.
6. Cooper, P., Cornforth, I.S., 1978. Volatile fatty acids in stored animal slurry. J. Sci. of Food and Agric. 29, 19-27.
7. Duncan, D.B., 1955. Multiple range and multiple F test. Biometrics. 11, 1-42.
8. Gibson, G.R., Roberfroid, M.B., 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. J.

Nutr. 125, 1401-1412.

9. Goa, Y., Rideout, T., Lackeyram, D., Archbold, T., Fan, M.Z., Squires, E.J., Duns C.F.M. de Lange, G., Smith, T.K., 1999. Manipulation of hindgut fermentation to reduce the excretion of selected odor-causing compounds in pigs. In: Proceedings of Canadian Pork Council: Symposium of The Hog Environmental Management Strategy, Ontario, Canada, 24-29.
10. Hobbs, J.P., Brian, F.P., Roger, M.K., Lee, P.A., 1996. Reduction of odorous compounds in fresh pig slurry by dietary control of crude protein. J. Sci. of Food and Agric. 74, 508-514.
11. Jensen, M.T., Cox, R.P., Jensen, B.B., 1995. 3-Methylindole (skatole) and indole production by mixed populations of pig fecal bacteria. Appl. and Environ. Microbiol. 61(8), 3180-3184.
12. Kim, J.H., Yoo, K.S., Oh, J.B., Jung, J.Y., 2012. Study on the characteristics of odor emitted from swine facilities. J. KSEA. 439-444.
13. Knarreborg, A., Beck, J., Jensen, M.T., Laue, A., Agergaard, N., Jensen, B.B., 2002. Effects of non-starch polysaccharides on production and absorption of indolic compounds in entire male pigs. Anim. Sci. 74, 445-453.
14. Le, P.D., Aarnink, A.J.A., Ogink, N.W.M., Becker, P.M., Verstegen, M.W.A., 2005. Odour from animal production facilities: Its relationship to diet. Nutr. Res. Rev. 18, 3-30.
15. Mackie, R.I., Stroot, P.G., Varel, V.H., 1998. Biological identification and biological origin of key odour compounds in livestock waste. J. Ani. Sci. 76, 1331-1342.
16. National Institute of Animal Science (NIAS)., 2012. Korean Feeding Standard for Swine: Nutrient Requirement of Swine. NIAS, Suwon, Korea.
17. Otto, E.R., Yokoyama, M., Hengemuehle, S., von Bermuth, R.D., van Kempen, T., Trottier, N.L., 2003. Ammonia, volatile fatty acids, phenolics, and odor offensiveness in manure from growing pigs fed diets reduced in protein concentration. J. Anim. Sci. 81, 1754-1763.
18. Paul, J.W., Beauchamp, E.G., 1989. Relationship between volatile fatty acids, total ammonia, and pH in manure slurries. Biol. Wastes. 29, 313-318.
19. Rasmussen, H.S., Holtug, K., Mortensen, P.B., 1988. Degradation of amino acids to short chain fatty acids in humans. an *in-vitro* study. Scandinavian J. Gastroenterol. 23, 178-182.
20. Reid, C.A., Hillman, K., 1999. The effects of retrogradation and amylose/amylopectin ratio of starches on carbohydrate fermentation and microbial populations in the porcine colon. Ani. Sci. 68, 503-510.
21. SAS., 1996. SAS/STAT® software for PC. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
22. Spoelstra, S.F., 1977. Simple phenols and indoles in anaerobically stored piggery wastes. J. Sci. of Food and Agric. 28, 415-423.
23. 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.
24. Sutton, A.L., Kephart, K.B., Verstegen, M.W., Canh, T.T., Hobbs, P.J., 1999.

Potential for reduction of odorous compounds in swine manure through diet modification. J. Anim. Sci. 77, 430-439.
25. Williams, A.G., Evans, M.R. 1981. Storage of piggery slurry. Agric. Wastes. 3, 11-321.
26. Zhu, J., Riskowski, G.L., Torremorell, M., 1999. Volatile fatty acids as odor indicators in swine manure-a critical review. Trans. ASAE. 42, 175-182.