양돈 슬러리에 첨가된 발효탄수화물의 종류별 악취물질 농도 비교

황옥화[1] · 양승학[1] · 전중환[1] · 곽정훈[1] · 최동윤[1] · 양승봉[2] · 김두환[3] · 조성백[1]*
[1]농촌진흥청 국립축산과학원, [2]울산대학교, [3]경남과학기술대학교

The Effect of the Addition of Carbohydrate on the Concentration of Odorous Compounds in Pig Slurry

Ok Hwa Hwang[1], Seung Hak Yang[1], Jung Hwan Jeon[1], Jeong Hoon Kwag[1], Dong Yun Choi[1], Seung Bong Yang[2], Doo Hwan Kim[3], Sung Back Cho[1]*
[1]National Institute of Animal Science, RDA. Suwon 441-706, Korea,
[2]Ulsan University, Ulsan 680-749, Korea,
[3]Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea.

ABSTRACT

Slurry treatments included peanut shell, palm golden fiber, almond hull, which was added 2% of the amount of slurry, and non-treatment control (n=4 each group). Levels of odorous compounds were measured from the liquid slurry incubated in 20℃ for 2 wk in chamber whose structure is similar to slurry pit. Concentration of phenols and indoles was higher ($p<0.05$) in control (48.4, 4.0 ppm) compared to almond hull (31.5, 1.4 ppm) or palm golden fiber (29.1, 1.6 ppm) group. Short chain fatty acid (SCFA) level was lowest ($p<0.05$) in control (2,121 ppm) but highest in peanut shell group (3,640 ppm). Branched chain fatty acid (BCFA) concentration was highest ($p<0.05$) in peanut shell (296 ppm), but lowest in almond hull (90 ppm). Taken together, concentration of odorous compounds was decreased by addition of almond hull in pig slurry by which crude fiber and non-digestible fiber (NDF) may act as a carbon source.

(**Key words :** Swine slurry, Odor, Fermentable carbohydrate, Volatile organic compound, Volatile fatty acid)

서 론

가축에 급여한 사료의 영양소가 체내에 축적되지 않고 배설되면 이들이 돈사 바닥 또는 슬랏 아래에서 혐기 미생물에 의해 발효되어 악취물질이 생성된다 (Spoelstra, 1977; Williams and Evans, 1981). 2005년도에 축산시설에서 발생되는 악취를 규제하기 시작한 이래 (MEV, 2005), 양돈시설을 대상으로 하는 악취 민원이 축산시설을 대상으로 한 악취 민원의 54%를 차지하였다 (MEV, 2006).

돈사에서 발생되는 악취물질은 volatile fatty

Corresponding author : Sung Back Cho, Animal Environment Division, National Institute of Animal Science, RDA. Suwon 441-706, Korea. Tel: +82-31-290-1712. E-mail: csb652@korea.kr
2013년 8월 26일 투고, 2013년 9월 6일 심사완료, 2013년 9월 15일 게재확정

acid (VFA), 페놀, p-크레졸, 인돌, 스카톨 등이 대표적인 물질로 제시되고 있다 (Schaefer, 1977; Williams and Evans, 1981). 페놀류와 인돌류는 악취 최소감지 농도가 매우 낮고, 축사와 멀리 떨어진 곳까지 이동하여 영향을 줄 정도로 강한 악취를 발생한다 (Conn et al., 2007). VFA는 SCFA가 70%를 차지하고 있으며 (Cooper and Cornforth, 1978), 한국 사람들의 경우 김치와 같은 발효식품을 섭취하기 때문에 SCFA를 불쾌하게 느끼지 않는 경향이 있다.

돼지 분뇨가 발효되면, 분뇨의 미생물은 체성분 구성을 위해 단백질을, 증식을 위한 에너지원으로 발효탄수화물을 이용하게 된다 (Gibson and Roberfroid, 1995). 발효탄수화물의 양이 적거나 발효탄수화물에 비하여 단백질이 많으면 미생물은 에너지원으로 단백질을 사용하기 때문에, 악취물질이 많이 생성될 수 있다 (Reid and Hillman, 1999; Sutton et al., 1999). 따라서 사료나 분뇨에서 단백질과 발효탄수화물의 비율이 최적화되면 축사 시설의 악취가 크게 감소 될 것으로 기대된다. DeCamp et al. (2001)은 10%의 대두피를 첨가한 사료를 먹은 돼지의 분뇨와 대두피를 첨가하지 사료를 섭취한 돼지의 분뇨를 6주간 저장하였을 때 대두피를 포함하는 사료를 섭취한 돼지의 분뇨에서 총 VFA 농도가 32% 증가하였으며, 상층 가스에서는 암모니아, 황화수소 및 악취농도가 각각 20, 32, 11% 감소되었다고 하였다. Goa et al. (1999)은 기초사료에 섬유소를 첨가함으로써 신선분에서 p-크레졸과 스카톨의 발생량이 감소되었다고 하였다. 또한 비트펄프가 풍부한 사료를 돼지에 급여하였을 때, 대장 내 미생물에 의해 트립토판이 분해되어 스카톨과 인돌로 전환되는 비율이 감소하여 분뇨로 배설되는 농도가 낮다는 보고도 있다 (Knarreborg et al., 2002). 또한 저항성 전분 (300 g/kg)이 첨가된 비육돈 사료를 급여하였을 때, 분과 공기 중의 인돌 및 BCFA의 농도가 크게 감소되는 연구 결과도 있다 (Willing et al., 2005).

본 연구는 양돈 농장에서 발생되는 악취를 줄이기 위하여 양돈 슬러리에 다양한 종류의 발효탄수화물을 첨가하였을 때 발생되는 악취물질의 농도를 비교하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

1. 분뇨 채취 및 배양

처리구는 땅콩껍질 (조섬유 29.87, NDF 44.02 %), 팜 골든화이버 (조섬유 48.77, NDF 65.88 %) 및 아몬드피 (조섬유 44.30, NDF 64.44%)를 양돈 슬러리에 각각 첨가한 3처리와 무처리 (대조구)로 구성하여 4처리로 하였으며, 처리구당 4반복으로 수행되었다. 돼지의 영양소 요구량이 충족되도록 배합한 사료를 체중 45~65 kg 돼지에게 급여한 후 배설된 슬러리를 채취하여 시험에 이용하였다 (NIAS, 2012). 돈사 피트모형의 20 L 아크릴 반응조에 슬러리를 15 L씩 채운 다음 처리구별로 슬러리 양의 2% (w/w)로 발효탄수화물을 첨가하여 20℃에서 14일간 배양하였다. 1주 간격으로 액상시료를 채취하여 volatile organic compound (VOC), VFA, 암모니아태 질소 (NH_4^+-N) 및 pH를 측정하였다.

2. 악취물질 분석

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 킬달질소분해장치 (1035 Analysis, Foss, Denmark)를 이용하여 분석되었다. pH는 pH meter (850C, Schott, Germany)를 이용하여 측정되었다.

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

1주일 간격으로 반응조에서 슬러리를 채취하여 VFA의 농도를 분석한 결과는 Table 1과 같다. 저장 1주째에 SCFA의 농도는 대조구, 팜 골든화이버, 땅콩껍질, 아몬드 피 구에서 각각 2,854, 3,958, 4,832, 5,044 ppm으로 대조구에서 가장 낮았고 ($p<0.05$), 땅콩껍질과 아몬드피 구에서 가장 높았다 ($p<0.05$). 저장 2주째에 SCFA의 농도는 대조구, 팜 골든화이버, 아몬드피, 땅콩껍질 구에서 각각 2,121, 3,343, 3,454, 3,640 ppm으로 대조구에서 가장 낮았고 ($p<0.05$), 땅콩껍질과 아몬드피 구에서 가장 높았다 ($p<0.05$). VFA의 구성을 살펴보면 SCFA의 성분인 아세트산의 비율이 가장 높으며, 다음으로 프로피온산, 부티르산, BCFA 순으로 낮았는데, 이것은 다른 연구자의 시험결과와 비슷하였다 (Wu et al., 1999). 슬러리의 저장기간이 1주에서 2주로 경과됨에 따라 SCFA의 농도가 감소되는 경향을 보였다. Hobbs et al. (1999) 연구에서 양돈 슬러리를 100일간 저장하였을 때 VFA의 농도가 저장 전에 비해 5% 정도 감소되었다는 결과와 비슷한 경향을 보였다.

저장 1주째에 BCFA의 농도는 아몬드피, 팜 골든화이버, 대조구, 땅콩껍질 구에서 각각 103, 129, 148, 331 ppm으로 아몬드피 구에서 가장 낮았고 ($p<0.05$), 땅콩껍질 구에서 가장 높았다 ($p<0.05$). 저장 2주째에 BCFA의 농도는 아몬드피, 팜 골든화이버, 대조구, 땅콩껍질 구에서 각각 90, 123, 135, 296 ppm으로 아몬드피 구에서 가장 낮았고 ($p<0.05$), 땅콩껍질 구에서 가장 높았다 ($p<0.05$). BCFA의 농도는 SCFA과 같이 저장 1주째보다 2주째 감소되었다. VFA는 가축의 분뇨에 포함된 섬유소와 단백질이 혐기조건에서 발효되어 생성된다. 이때 아세트산, 프로피온산, 부티르산과 같은 SCFA는 탄수화물과 단백질로부터 생성되지만, i-부티르산, i-발레르산과 같은 BCFA는 단백질이 분해되는 경우에만 생성된다 (Jensen and Jorgensen, 1994). 따라서, 땅콩껍질 구는 단백질이 많이 발효되었고, 아몬드피 구는 탄수화물이 많이 발효되었다고 추정할 수 있다.

2. 슬러리의 VOC 농도 변화

슬러리를 2주간 저장하였을 때 페놀류, 인

Table 1. Effect of fermentable carbohydrate source on the VFA concentration from slurry of pigs.[†]

Storage	VFA	Fermentable carbohydrate source				MS
		Control	Peanut hull[‡]	Palm golden fiber[‡]	Almond hull[‡]	
1 weeks	Acetic acid	2,312[d]	3,671[b]	3,227[c]	4,132[a]	296.3
	Propionic acid	393[d]	890[a]	567[c]	719[b]	66.8
	Butyric acid	149[c]	271[a]	164[c]	193[b]	20.7
	i-Butyric acid	48[b]	111[a]	51[b]	39[c]	5.2
	i-Valeric acid	99[b]	220[a]	78[c]	63[d]	9.6
	SCFA[§]	2,854[c]	4,832[a]	3,958[b]	5,044[a]	381.7
	BCFA[¶]	148[b]	331[a]	129[c]	103[d]	14.7
2 weeks	Acetic acid	1,706[b]	2,731[a]	2,755[a]	2,823[a]	200.4
	Propionic acid	308[c]	667[a]	450[b]	462[b]	50.9
	Butyric acid	106[d]	242[a]	138[c]	169[b]	15.8
	i-Butyric acid	46[c]	103[a]	57[b]	38[d]	4.4
	i-Valeric acid	89[b]	193[a]	66[c]	53[d]	6.8
	SCFA[§]	2,121[c]	3,640[a]	3,343[b]	3,454[ab]	255.6
	BCFA[¶]	135[b]	296[a]	123[c]	90[d]	10.6

[†] 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%.

[‡] Composition of fermentable carbohydrate source : Peanut hull, Protein 15.80% Fiber 45.52%; Palm golden fiber, Protein 3.03% Fiber 45.93%; Almond hull, Protein 3.40% Fiber 41.72%.

[§] SCFA = Acetic acid + Propionic acid + Butyric acid.

[¶] BCFA = i-Butyric acid + i-Valeric acid.

[a, b, c, d] Figures with different superscripts within the same row are significantly different ($p<0.05$).

돌류 및 NH_4^+-N 농도는 Table 2와 같다. 저장 1주째 페놀류 농도는 아몬드피, 팜 골든 화이버, 땅콩껍질, 대조구에서 각각 33.6, 33.7, 43.7, 48.6 ppm으로 아몬드피와 팜 골든 화이버 구에서 가장 낮았고 ($p<0.05$), 대조구에서 가장 높았다 ($p<0.05$). 저장 2주째 페놀류 농도는 팜 골든화이버, 아몬드 피, 대조구, 땅콩껍질 구에서 각각 29.1, 31.5, 48.4, 50.3 ppm으로 팜 골든화이버와 아몬드피 구에서 가장 낮았고 ($p<0.05$), 대조구와 땅콩껍질 구에서 높았다 ($p<0.05$). 슬러리 저장 1주째와 2주째 페놀류 농도는 큰 차이가 없으며, 슬러리 저장 1주와 2주 모두 페놀 농도가 p-크레졸 농도보다 낮았다. Spoelstra (1977)의 연구에서 돼지 슬러리의 페놀 농도가 p-크레졸의 10% 이하로 존재한다고 보고하였다.

저장 1주째 인돌류 농도는 아몬드피, 팜 골든화이버, 땅콩껍질, 대조구에서 각각 0.9, 0.9, 1.6, 1.9 ppm으로 아몬드피와 팜 골든화이버 구에서 가장 낮았고 ($p<0.05$), 대조구에서 가장 높았다 ($p<0.05$). 저장 2주째 인돌류

Table 2. Effect of fermentable carbohydrate source on the VOC, NH_4^+-N and pH from slurry of pigs.[†]

Storage	VOC	Fermentable carbohydrate source				MS
		Control	Peanut hull[‡]	Palm golden fiber[‡]	Almond hull[‡]	
1 week	Phenol	10.2^{c}	21.1^{a}	13.1^{b}	8.7^{d}	0.7
	p-Cresol	38.4^{a}	22.7^{bc}	20.7^{c}	24.9^{b}	3.2
	Indole	1.1^{a}	1.2^{a}	0.6^{b}	0.6^{b}	0.2
	Skatole	0.8^{a}	0.4^{b}	0.3^{c}	0.2^{c}	0.1
	Phenols[§]	48.6^{a}	43.7^{b}	33.7^{c}	33.6^{c}	3.6
	Indoles[¶]	1.9^{a}	1.6^{b}	0.9^{c}	0.9^{c}	0.2
	NH_4^+-N	1,065.0^{a}	1,088.8^{a}	1,012.3^{b}	977.0^{b}	26.1
	pH	8.6^{a}	7.7^{c}	8.1^{b}	7.5^{c}	0.1
2 week	Phenol	8.7^{c}	18.2^{a}	11.8^{b}	6.9^{d}	1.1
	p-Cresol	39.7^{a}	32.1^{b}	17.3^{d}	24.7^{c}	4.3
	Indole	0.3^{c}	0.6^{b}	0.5^{b}	0.9^{a}	0.1
	Skatole	3.7^{a}	2.9^{b}	1.1^{c}	0.5^{d}	0.4
	Phenols[§]	48.4^{a}	50.3^{a}	29.1^{b}	31.5^{b}	4.4
	Indoles[¶]	4.0^{a}	3.5^{b}	1.6^{c}	1.4^{c}	0.4
	NH_4^+-N	930.0^{b}	1,018.3^{a}	1,059.5^{b}	847.5^{c}	28.7
	pH	8.6^{a}	7.8^{c}	8.1^{b}	7.8^{c}	0.1

[†] 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%.
[‡] Composition of fermentable carbohydrate source : Peanut hull, Protein 15.80% Fiber 45.52%; Palm golden fiber, Protein 3.03% Fiber 45.93%; Almond hull, Protein 3.40% Fiber 41.72%.
[§] Phenols = phenol + p-cresol.
[¶] Indoles = indole + skatole.
[a, b, c, d] Figures with different superscripts within the same row are significantly different ($p<0.05$).

농도는 아몬드피, 팜 골든화이버, 땅콩껍질, 대조구에서 각각 1.4, 1.6, 3.5, 4.0 ppm으로 아몬드피와 팜 골든화이버 구에서 가장 낮았고 ($p<0.05$), 대조구에서 가장 높았다 ($p<0.05$). 다른 연구결과를 보면 치커리 이눌린을 육성돈 사료에 5% 첨가하였을 때 무첨가 처리구보다 분 내 스카톨 농도가 감소되었다 (Rideout et al., 2004). 저장 1주째 인돌 농도가 스카톨 농도보다 높았으나 2주째에는 아몬드피 구를 제외하고 인돌 농도보다 스카톨 농도가 더 높았으며, 저장 1주째보다 2주째 인돌류 농도는 크게 증가되었다. 다른 연구자들도 양돈 슬러리의 저장기간이 증가함에 따라 스카톨의 농도가 증가되었다고 하였다 (Williams and Evans, 1981; Ye et al., 2009). 인돌류는 휘산율이 매우 낮아 저장기간 동안 생산량에 비해 휘산량이 적어서 오히려 농도가 증가된 것으로 판단된다 (Hobb et al., 1999). NH_4^+-N

의 농도는 슬러리 저장 1주째에 다른 처리구보다 팜 골든화이버와 아몬드피 구에서 낮았고, 2주째에는 아몬드피 구에서 가장 낮았다 ($p<0.05$).

슬러리 발효과정 동안 미생물의 성장을 위해 필요한 에너지가 제한요소로 작용하면, 미생물은 단백질을 에너지원으로 이용하기 때문에 많은 아미노산이 분해되어 악취가 증가 될 수 있다. 다른 처리구에 비하여 아몬드피와 팜 골든화이버 구에서 VOC의 농도가 낮은 것은 단백질 발효보다 탄수화물 발효가 더 활발하였기 때문으로 판단된다.

결 론

본 연구는 양돈 농장에서 발생되는 악취를 줄이기 위하여 양돈 슬러리에 다양한 종류의 발효탄수화물을 첨가하였을 때 발생되는 악취물질의 농도를 비교하기 위하여 수행되었다.

저장 2주째에 SCFA의 농도는 대조구, 팜 골든화이버, 아몬드피, 땅콩껍질 구에서 각각 2,121, 3,343, 3,454, 3,640 ppm으로 대조구에서 가장 낮았고 ($p<0.05$), 땅콩껍질과 아몬드피 구에서 가장 높았다 ($p<0.05$). 저장 2주째에 BCFA의 농도는 아몬드피, 팜 골든화이버, 대조구, 땅콩껍질 구에서 각각 90, 123, 135, 296 ppm으로 아몬드피 구에서 가장 낮았고 ($p<0.05$), 땅콩껍질 구에서 가장 높았다 ($p<0.05$). 저장 2주째 페놀류 농도는 팜 골든화이버, 아몬드 피, 대조구, 땅콩껍질 구에서 각각 29.1, 31.5, 48.4, 50.3 ppm으로 팜 골든화이버와 아몬드피 구에서 가장 낮았고 ($p<0.05$), 대조구와 땅콩껍질 구에서 높았다 ($p<0.05$). 저장 2주째 인돌류 농도는 아몬드피, 팜 골든화이버, 땅콩껍질, 대조구에서 각각 1.4, 1.6, 3.5, 4.0 ppm으로 아몬드피와 팜 골든화이버 구에서 가장 낮았고 ($p<0.05$), 대조구에서 가장 높았다 ($p<0.05$).

슬러리 저장기간 동안 미생물의 성장을 위해 필요한 에너지가 제한요소로 작용되면, 미생물은 단백질을 에너지원으로 이용하기 때문에 많은 아미노산이 분해되어 악취가 증가 될 수 있다. 다른 처리구에 비하여 아몬드피와 팜 골든화이버 구에서 VOC의 농도가 낮은 것은 단백질 발효보다 탄수화물 발효가 더 활발하였기 때문으로 판단된다. 따라서, 땅콩껍질 구는 단백질이 많이 발효되었고, 아몬드피 구는 탄수화물이 많이 발효되었다고 추정할 수 있다.

본 연구를 통하여 사료나 분뇨에서 단백질과 발효탄수화물의 비율이 최적화되면 양돈장의 악취가 크게 감소 될 것으로 기대된다. 그러기 위해 돼지 슬러리에 적당한 탄수화물원 탐색 및 첨가 수준을 결정하는 연구가 더 많이 수행되어야 할 것이다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ009235022013)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

1. 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.
2. Cooper, P., Cornforth, I.S., 1978. Volatile fatty acids in stored animal slurry. J. Sci. of Food and Agric. 29, 19-27.
3. DeCamp, S.A., Hill, B.E., Hankins, S.L.,

Bundy, D.C., Powers, W.J., 2001. Effects of soybean hulls in commercial diet on pig performance, manure composition, and selected air quality parameters in swine facilities. J. Anim. Sci. 79, 250.

4. Duncan, D.B., 1955. Multiple range and multiple F test. Biometrics. 11, 1-42.
5. Gibson, G.R., Roberfroid, M.B., 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota introducing the concept of prebiotics. J. Nutr. 125, 1401-1412.
6. 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.
7. Hobbs, P.J., Misselbrook, T.H., Cumby, T. R., 1999. Production and emission of odors and gases from ageing pig waste. J. Agric. Engng. Res. 72, 291-298.
8. 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.
9. Jensen, B.B., Jorgensen, H., 1994. Effect of dietary fiber on microbial activity and microbial gas production in various regions of the gastrointestinal tract of pigs. Appl. Environ. Microbiol. 60(6):1897-1904.
10. 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.
11. Ministry of Environment (MEV), 2005. Offensive Odor Control Law. MEV, Sejong, Korea.
12. Ministry of Environment (MEV), 2006. MEV 2006 Business Report. MEV, Sejong, Korea.
13. National Institute of Animal Science (NIAS), 2012. Korean Feeding Standard for Swine: Nutrient Requirement of Swine. NIAS, Suwon, Korea.
14. Reid, C.A., Hillman, K., 1999. The effects of retrogradation and amylose/amylopectin ratio of starches on carbohydrate fermentation and microbial population in the porcine colon. Anim. Sci. 68(3):503-510.
15. Rideout, T.C., Fan, M.Z., Cant, J.P., Wagner-Riddle, C., Stonehouse, P., 2004. Excretion of major odor-causing and acidifying compounds in response to dietary supplementation of chicory inulin in growing pig. J. Anim. Sci. 82, 1678-1684.
16. SAS. 1996. SAS/STAT® software for PC. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
17. Schaefer, J., 1977. Sampling characterization and analysis of malodours. Agric, Environ. 3, 121-127.
18. Spoelstra, S.F., 1977. Simple phenols and indoles in anaerobically stored piggery wastes. J. Sci. of Food and Agric. 28, 415-423.
19. 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.

20. Williams, A. G., Evans, M. R., 1981. Storage of piggery slurry. Agricultural Wastes. 3, 11-321.
21. Willing, S., Losel, D., Claus, R., 2005. Effects of resistant potato starch on odor emission from feces in swine production units. J. Agric. Food Chem. 53, 1173-1178.
22. Wu, J.J., Park, S.H., Hengemuehle, S.M., Yokoyama, M.T., Person, H.L., Gerrish, J. B., Masten, S. J., 1999. The use of ozone to reduce the concentration of malodorous metabolites in swine manure slurry. J. Agric. Engng. Res. 72, 317-327.
23. Ye, F.X., Zhu, R.F., Li, Y., 2009. Deodorization of swine manure slurry using horseradish peroxidase and peroxides. J. Hazard. Mater. 167, 148-153.