

액상 첨가제 살포 방법에 의한 밀폐형 돈사에서의 분진 저감 평가

김기연 · 고한종* · 김치년**

한양대학교 환경 및 산업의학연구소

Assessment of Dust Reduction in the Enclosed Pig Building by Spraying Method with Liquid Additives

Kim, K. Y., Ko, H. J.* and Kim, C. N.**

Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University

Summary

Appropriate air quality in the pig building is essential to prevent farmers' health as well as to increase pig performance. This on-site experiment was conducted to assess dust reduction efficiencies of several liquid additives with spraying method in the enclosed pig building. The mean reduction rate of total dust only after spray was approximately 30% for all the treatments compared to initial level before spraying additives, which was found to reduce the initial level of total dust significantly ($p < 0.05$). The mean reduction rate of all the treatments at 1hr after spray was about 24% which was 6% lower than only after spray. Since 3hr after spray, however, total dust level were fluctuated variably for all the treatments besides application of the soybean oil. Based on this result, effect of soybean oil on dust reduction in the enclosed pig building was most prominent among liquid additives evaluated in terms of efficiency and duration.

(Key words : Air quality, Pig building, Dust, Liquid additives, Soybean oil)

서 론

우리나라의 양돈산업이 현재 시급히 해결해야할 가장 큰 사회적 현안은 악취 발생에 따른 환경 민원 문제와 돈사 실내 공기오염 물질 노출에 따른 돼지의 생산성과 작업자의 보건환경 문제라 할 수 있다. 특히 최근 들어 돼지에서 빈번히 발병되는 4P 소모성 질환들의 대부분은 호흡기계 증상과 연관된 것으로 이러한 질병의 발생은 돈사 내부에서

발생되는 가스상, 입자상, 생물학상 오염물질들이 하나의 원인이라 할 수 있다.

돈사내 공기오염물질 중 입자상 형태는 분진, 흙 (fume), 증기속 등이 해당된다. 일반적으로 돈사내에서 발생하는 입자상 오염물질의 대부분은 유기성 분진으로 돼지에게 급여된 사료 중 미세한 분진이 공기 중으로 방출되기 때문이고 (Heber 등, 2000), 그 외 분뇨의 건조화 및 돼지의 피부와 털 등도 발생 원인으로 알려져 있다 (Gustafsson, 1999; Duchaine

* 제주특별자치도 축산정책과(Division of Livestock Policy, Jeju Special Self-Governing Province)

** 연세대학교 의과대학 산업보건연구소(Institute for Occupational Health, College of Medicine, Yonsei University)

Corresponding author : Ko Han Jong, Division of Livestock Policy, Jeju Special Self-Governing Province, Tel : 064-710-2294, Fax : 064-710-2129, E-mail : khjong333@hanmail.net

등, 2000). 돈사에서 기인하는 분진의 조성은 유기물 함량이 전체 87%로 여기에는 조단백질 24%, 지방 4~5%, 조섬유 3~5%로 구성되어 있다 (Heber 등, 1988). 돈사 현장에서 적용되는 환기 상태나 사료 급여 방식에 따라 차이는 있지만, 5 μm 이하의 입자들의 수가 전체 입자 수의 70~95%를 차지하는 것으로 보고되고 있다 (Iversen 등, 1988; Mackie 등, 1998).

분진은 직경 0.5~1,000 μm 의 폭넓은 범위를 가진 고체상의 입자를 의미하며 (Carpenter와 Fryer, 1990), 호흡시 코와 입으로 들어와 코와 입에 침착되는 약 50 μm 미만의 흡입성 (Inhalable) 분진과 이것들 중 폐의 가스 교환 부위까지 도달하는 약 5.0 μm 이하의 호흡성 (Respirable) 분진으로 구분된다 (Cormier 등, 1990). 따라서 입경 크기가 작은 분진 입자들일수록 호흡을 통해 체내로 유입되어 돼지와 작업자의 호흡기계 심부에게까지 전달되어 건강상의 악영향을 초래하는 것이다 (Cox, 1987; Crook 등, 1991). 또한 분진은 돈사내 악취 원인 물질이나 감염성 질병을 유발할 수 있는 병원성 미생물들을 표면에 흡착하여 공기 중에서 이동되기 때문에 (Straubel, 1981; Janni 등, 1984; Hartung, 1986; Hinz와 Krause, 1988) 분진의 제어가 곧 악취 저감과 부유미생물 노출에 따른 돼지의 감염성 질병 예방을 위한 돈사 환경 관리 대책 중 하나라 할 수 있다.

돈사 형태가 기존의 개방형 돈사에서 적정 온습도 유지를 통한 돼지의 생산성 향상을 목적으로 강제환기를 적용하는 밀폐형 돈사 형태의 보급이 계속해서 확대되어 가고 있다. 기계적 환기시스템은 분진을 포함한 돈사 내부의 공기오염물질들을 일정 수준으로 저감할 수는 있으나, 원천적으로 제거하거나 외부로 전량 배출한다는 것은 불가능하기 때문에 산업위생학적 측면에서는 자연환기 돈사보다 오히려 돼지와 작업자의 분진 노출수

준이 더 높아지는 역의 효과를 내포하고 있다 (Kim 등, 2007).

분진을 제거하기 위한 환기시스템의 제 성능을 보완하고자 물리적, 화학적, 생물학적 측면에서 여러 저감 방안들이 제안되어 왔고 실제 돈사에 적용한 사례들도 보고되고 있다 (Takai 등, 1995; Zhang 등, 1996; Jacobson, 1998; Zhu 등, 1999; Varela와 Miller, 2001). 그러나 양돈농가가 직면한 현재의 경제적 상황과 농장 관리인들이 현장에서 손쉽게 적용해야 한다는 편리성을 고려한다면 액상 형태의 첨가제 살포 등과 같은 생물학적 처리 방법이 가장 현실적 대안이라 할 수 있으나, 이에 대해 지금까지 수행된 연구가 개별적으로 수행되어 각 첨가제별로의 분진 제어 효율성에 대한 객관적 비교 평가가 불가능한 실정이다. 따라서 본 연구는 현재까지 평가되었거나 새로 제안된 액상 첨가제들을 동일한 조건하에서 실증 돈사에 살포방법을 적용하여 살포 전과 후의 분진의 경시적 농도 변화를 살펴보고, 이를 근거로 액상 첨가제의 분진 제어 효율성에 대한 기초 데이터를 제공할 목적으로 수행되었다.

재료 및 방법

1. 실험 설계

밀폐형태의 완전 슬랫형 슬러리 돈사 (5.2m×9m×2.5m)에서 하절기인 2007년 6월에서 8월에 걸쳐 실험을 실시하였다. 돈사 내부는 중앙 복도 (0.8m×9m)를 중심으로 측면에 각각 5개의 돈방으로 나누어져 있으며, 적정 온습도를 유지하기 위해 측벽배기의 강제환기 방식이 적용되고 있었으나, 실험 결과 값에 대한 환기의 영향을 배제하기 위해 실험 중에는 환기율을 340 m^3/h 로 고정하였다. 각 돈방 (0.44m×0.9m×0.7m)에는 평균 체중 50~75kg의 육성돈 (Landrace×Yorkshire×Duroc)

3~4두를 입식한 후 NRC 사양기준에 근거한 사료의 자유 급식 및 음수가 가능한 사육 환경을 조성하였다. 돈사 환경 조건을 모니터링하기 위해 돈사 내·외부의 온도 및 상대 습도를 휴대용 자동센서 측정기 (SK-110TRH, Sato, Japan)를 통해 평가하였다.

2. 액상 첨가제의 선정 및 평가 방법

본 연구에서 평가된 돈사내 분진 저감을 위한 액상 첨가제는 물, 소금물, 고온 호기성 돈분뇨 처리수, 미생물제제, 콩기름, 인공 식향료 (바나나향), 식물성 천연 식향료였고, 각 첨가제의 조성 및 물과의 희석 비율은 Table 1과 같다. 고온 호기성 분뇨 처리수의 경우 Table 2에 나타난 바와 같이 무취에 가깝고, 병원성 미생물이 거의 사멸되어 살포시 돼지

나 작업자에게 무해한 처리수를 이용하였다. 인력식 살포기를 통해 15분 동안 총 10ℓ를 돈방에 골고루 살포하였으며, 각 처리구 당 3일의 반복 실험을 수행하였다. 측정 위치는 돈사 중앙 복도의 중앙 지점으로부터 지상 30 cm와 150 cm의 두 지점을 선정했고, 받침대를 설치하여 직독식 분진 측정 장비 (M8000-01, Sibata, Japan)로 모니터링하였다. 측정 시점은 살포 전, 직후, 살포 후 1, 3, 5, 24 hr로 하여 살포 전과 후의 분진 저감 정도 및 지속 효과를 평가하였다.

3. 데이터 처리

살포 후 시간 경과에 따른 분진 농도 변화율 (dC/dt)의 원리를 적용하여 첨가제를 살포하기 전 초기 농도(C_0)를 기준으로 시간 경

Table 1. Compositions of liquid additives evaluated in this study

Additive	Composition
Water	100% : 10 ℓ tap water
Salt water	5% : 500 g salt in 10 ℓ water
Treated pig manure	100% : 10 ℓ digested pig manure
Microbial additive - randomly selected commercial product	1% : 100 ml in 10 ℓ water - recommended by the manufacture
Soybean oil	5% : 500 ml in 10 ℓ water
Artificial spice	0.2% : 20 ml in 10 ℓ water
Essential oil	0.185% : 10 ml hurb and 8.5 g ravenda in 10 ℓ water

Table 2. Characteristics of the autothermal aerobic digested pig manure

Odorous compounds					Odor			Pathogen - log(cfu/m ³) -	
NH ₃	H ₂ S	CH ₃ SH	DMS	DMDS	¹ Conc.	² Inte.	³ Offe.	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella</i>
(ppm)	(ppb)								
0.14 (±0.05)	5.15 (±2.14)	0.98 (±0.25)	0.80 (±0.27)	0.56 (±0.19)	23 (±8)	1.2 (±0.3)	1.0 (±0.4)	1.16 (±0.28)	0.75 (±0.21)

* ¹ : concentration index, ² : intensity, ³ : offensiveness.

과에 따른 농도 (C_i)의 비율 (C_i/C₀)로 각 첨가제의 분진 저감율을 산정하였다. 각 측정 시간대별 분진 농도의 대표치는 기하평균값을 적용하였고, 농도 차이는 T-test를 통해 통계적 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 첨가제 살포 전 돈사 내부의 분진 농도 및 환경 조건

실험기간 동안 액상 첨가제 살포 전 초기 분진 농도의 기하평균값은 977 (±267) mg m⁻³ 였다 (Table 3 참조). 하지만 각 처리구별 초기 분진 농도값은 상당히 차이가 났는데, 그 이유는 본 연구가 현장 실증 평가인 관계로 돈사 내부 환경을 각 처리구별로 동일하게 적용하였다 하더라도 측정 당일의 외부 기후조건 (온도, 상대습도, 유속 등)이 돈사내 분진 발생에 상당한 영향을 주었기 때문이라 판단된다.

본 연구에서 측정된 돈사내 분진 배경 농도는 밀폐형 돈사를 대상으로 분진을 측정한

외국의 선행 연구 결과들 (Donham, 1986; Crook 등, 1991; Takai 등, 1998; Duchaine 등, 2000) 과 비교시 대체로 낮은 것으로 분석되었다. 본 실험 돈사에서 상대적으로 낮은 분진 농도를 보인 이유는 가루 형태가 아닌 펠렛 (pellete) 유형의 사료 급여와 바닥 전체가 슬랫 형태로 조성되었기 때문이라 사료되며, 이는 기존 보고들에서 이미 언급한 바 있다 (Madelin과 Wathes, 1989; Carpenter와 Fryer, 1990). Table 3에는 제시되지 않았지만 실험 기간 중 첨가제 살포 전 돈사 내부와 외부의 평균 온도 및 상대습도는 각각 25℃와 29℃, 65%와 60%로 차이가 크지 않았다. 하지만 살포 후 24시간까지 온도의 경우는 큰 차이가 없었으나, 상대습도는 1시간까지 증가하여 외부와 약 10% 가량 차이를 보인 후 외부와 비슷한 수준으로 감소하였다.

2. 액상 첨가제 살포에 따른 분진 저감 효과를 평가

Fig. 1에서 보는바와 같이 평가대상 모든 액상 첨가제들의 살포 직후 분진 평균 저감

Table 3. Initial level of total dust and in pig building before spraying liquid additives

	Total dust, µg m ⁻³ (GM±GSD)	Temp., °C		R.H., %	
		(GM±GSD)			
		In	Out	In	Out
Tap water	691±236	24.3±1.2	28.3±2.8	71±8	66±11
Salt water	1359±402	26.5±1.8	30.8±2.4	68±11	63± 9
Digested manure	1165± 35	24.8±2.1	28.6±1.6	70±13	63±11
Microbial additive	820± 71	25.3±0.7	29.2±1.5	62± 9	55±12
Soybean oil	875±172	25.9±1.5	29.6±2.1	60±13	56± 8
Artificial spice	1220±527	26.0±0.9	30.2±1.8	63±10	59±10
Essential oil	709± 90	24.4±1.6	28.6±2.2	61± 7	58± 7
Total average	977±267	25.2±1.4	29.4±2.0	65±10	60± 9

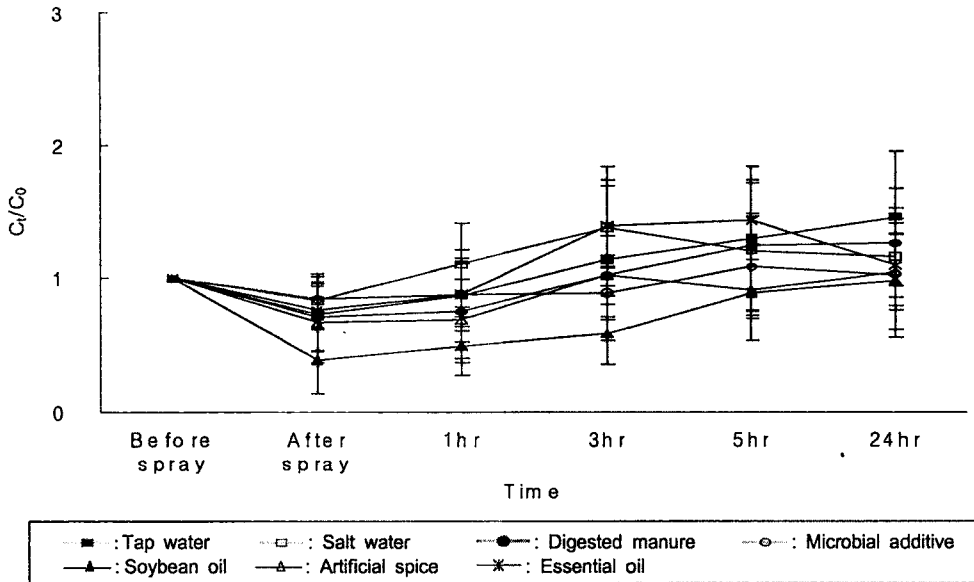


Fig. 1. Time-based reduction rate of total dust after spraying liquid additives.

울은 살포 전 농도 대비 약 30%로 나타났으며, 통계적으로도 유의한 수준인 것으로 분석되었다 ($p < 0.05$). 살포 후 1시간에 측정된 분진 농도 저감율은 모든 액상 첨가제들에 대해 대략 24%로 나타나 살포 직후 저감율보다 약 6% 낮은 것으로 조사되었다. 하지만 살포 3시간 이후부터는 콩기름의 경우에서만 지속적인 분진 농도의 저감 현상이 관찰되었을 뿐, 그 외 다른 액상 첨가제들의 경시적 저감 효과는 나타나지 않았다. 따라서 돈사에서 발생하는 분진에 대한 액상 첨가제들의 저감 효과는 콩기름을 제외하고 모두 살포 후 1시간까지만 유의적인 것으로 분석되었다.

본 실험 결과가 나타난 이유를 두 가지 인자로 설명할 수 있는데, 하나는 돈사 내부 상대습도와 돼지의 행동성이다. 앞서 언급한 바와 같이 모든 액상 첨가제의 살포 후 돈사 내부의 상대습도는 살포 전에 비해 10~20% 상승하게 되었는데, 이러한 상대습도의 상승 현상은 살포 후 1시간까지만 지속되었다. 그러나 살포 1시간 이후부터는 돈사 내부의 상대습도가 감소 또는 변동되는 일정하지 못한

변화 양상이 관찰되었고, 이는 동시에 분진 농도의 불규칙적인 경시적 변화를 유도한 원인이라 판단된다. 이러한 고찰은 상대습도가 돈사내 발생하는 분진 농도와 역의 관계가 성립된다는 연구 결과 (Heber 등, 1988)로 뒷받침할 수 있다. 콩기름을 제외한 액상 첨가제 살포 1시간 이후부터 돈사내 분진 농도의 경시적 감소 현상이 발견되지 않은 또 하나의 원인으로 측정 기간 동안 돼지들의 행동성을 언급할 수 있다. Gustafsson (1999)은 예측할 수 없는 시간대별 돼지의 행동 양상이 돈사내 분진 농도 변화에 상당한 영향을 미친다고 보고한 바 있다.

반면 콩기름 살포 후 돈사내 분진 농도는 살포 전 초기 농도에 비해 측정 기간 24시간 내내 통계적으로 유의하게 감소되는 현상이 관찰되었다 ($p < 0.05$). 돈사에서 발생하는 분진에 대한 콩기름의 현저한 저감 효과는 외국의 연구 사례들 (Takai 등, 1995; Zhang 등, 1996)에서도 이미 입증된 바 있다.

콩기름 살포에 의한 분진의 저감 기작에 대해 가능한 추론은 살포된 콩기름의 미립자들이 돈사 실내에 분포하고 있는 분진 입자

들을 응집시켜 중력에 의해 침강하여 바닥이나 내벽 표면에 부착되는 것으로 설명할 수 있다(Takai 등, 1995). 콩기름 등의 기름(oil) 살포가 돈사 분진 제거에 대한 긍정적 효과도 존재하나, 부정적 측면을 제기한 연구자들도 있다. Pearson과 Sharples(1995)는 몇몇 기름들이 발암성분을 가지고 있기 때문에 돈사 살포시 돼지와 작업자들에게 건강상 악영향을 줄 수 있으며, 돈사내 높은 상대습도의 형성으로 부유 미생물의 생존 능력을 지속시켜 공기 노출로 인한 기회감염 가능성을 증대시킬 수 있다고 보고하였다. 그러나 콩기름을 포함한 식물성 정유들은 돼지나 작업자가 살포시 노출되어 호흡을 통해 체내로 유입되더라도 생리학적으로 안전하다고 보고된 바 있다(Takai 등, 1995; Zhang 등, 1996). 따라서 콩기름의 살포 적용은 본 연구에서 평가된 액상 첨가제들 중 제거 효율성 및 안전성 측면 모두 돈사에서 발생하는 분진을 가장 효과적으로 제어할 수 있는 방안이라 결론내릴 수 있다.

본 연구의 제한점은 실험 수행 기간이 상대적으로 짧고, 돼지의 입식두수도 적을 뿐만 아니라, 여름철에만 국한되어 계절적 요인들이 충분히 반영되지 못한 것이라 할 수 있다. 또한 액상첨가제 살포방법에 대해 액상첨가제의 농도, 살포 횟수 등 다양한 변수를 고려하지 못했다. 따라서 향후 연구에서는 돈사 분진에 영향을 미치는 요인인 공급 사료 형태 등의 사양관리와 환기시스템 등의 시설환경에 대한 제어를 객관화하여 추가 보완할 예정이다.

적 요

본 연구는 지금까지 활용되었거나 새로이 제안된 액상 첨가제를 돈사에 살포하여 분진 농도의 경시적 변화를 관찰하여 제거 효과에 대해 객관적으로 비교 평가하기 위한 것으로

다음과 같은 결론들을 도출했다.

1. 살포 전 밀폐형 돈사내 분진 농도는 다른 연구자의 결과와 비교시 전반적으로 낮았다.
2. 온도의 경우는 살포 후 24시간까지 돈사 내부와 외부 큰 차이가 없었으나, 상대습도는 살포 후 1시간까지 증가하여 외부와 약 10% 가량의 차이를 보였다.
3. 평가대상 모든 액상 첨가제들의 살포 직후 분진 평균 저감율은 살포 전 농도 대비 약 30%로 나타났다($p < 0.05$).
4. 살포 3시간 이후부터는 콩기름을 제외하고 다른 액상 첨가제들의 분진 농도에 대한 경시적 저감 효과가 관찰되지 않았다.
5. 평가대상 모든 액상 첨가제들 중 콩기름의 살포가 제거 효율성 및 안전성 측면 모두 돈사 분진 제어에 대해 가장 효과적인 첨가제였다.

인 용 문 헌

1. Carpenter, G. A. and Fryer, J. T. 1990. Air filtration in a piggery: filter design and dust mass balance. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 46:171-186.
2. Cormier, Y., Tremblay, G., Meriaux, A., Brochu, G. and Lavoie, J. 1990. Airborne microbial contents in two types of swine confinement buildings in Quebec. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 51:304-309.
3. Cox, C. S. 1987. *The Aerobiological Pathway of Microorganisms*. John Wiley & Sons, New York.
4. Crook, B., Robertson, J. F., Glass, S. A., Botheroyd, E. M., Lacey, J. and Topping, M. D. 1991. Airborne dust, ammonia, microorganisms, and antigens in pig confinement houses and the respiratory health

- of exposed farm workers. American Industrial Hygiene Association Journal. 52: 271-279.
5. Donham, K. J. 1986. Hazardous agents in agricultural dusts and methods of evaluation. American Industrial Hygiene Association Journal. 10:205-220.
 6. Duchaine, C., Grimard, Y. and Cormier, Y. 2000. Influence of building maintenance, environmental factors, and seasons on airborne contaminants of swine confinement buildings. American Industrial Hygiene Association Journal. 61:56-63.
 7. Gustafsson, G. 1999. Factors affecting the release and concentration of dust in pig houses. Journal of Agricultural Engineering Research. 74:379-390.
 8. Hartung, J. 1986. Dust in livestock buildings as a carrier of odours. In: Nielsen VC, Voo- rburg JH, L'Hermite P. Odour Prevention and control of organic sludge and livestock farmings. Elsevier, London; pp. 321-332.
 9. Heber, A. J., Ni, J. Q., Lim, T. T., Diehl, C. A., Sutton, A. L., Duggirala, R. K., Haymore, B. L., Kelly, D. T. and Adamchuk, V. 2000. Effect of a manure additive on ammonia emission from swine finishing buildings. Transactions of the ASAE. 43:1895-1902.
 10. Heber, A. J., Stroik, M., Nelssen, J. L. and Nichols, D. A. 1988. Influence of environmental factors on concentrations and inorganic content of aerial dust in swine finishing buildings. Transactions of the ASAE. 31:875-881.
 11. Hinz, T, Krause, K. H. 1988. Emission of respiratory biological-mixed-aerosols from animal houses, In: Environmental aspects of respiratory disease in intensive pig and poultry houses, including the implications for human health, pp. 81-89. Proceedings: EEC-Meeting Aberdeen.
 12. Iversen, M., Dahl, R., Korsgaard, J., Hallas, T. and Juel, J. E. 1988. Respiratory symptoms in Danish farmers: an epidemiological study of risk factors. Thorax. 43:872-877.
 13. Jacobson, L. 1998. The effect on odor emissions when sprinkling oil for dust control inside pig buildings. University of Minnesota. Final report, Sept. 1.
 14. Janni, KA, Redig, PT., Newman, J. and Mulhausen, J. 1984. Respirable aerosol concentrations in turkey grower buildings. ASAE paper; No 84-4522.
 15. Kim, K. Y., Ko, H. J., Kim, H. T., Kim, Y. S., Roh, Y. M. and Kim, C. N. 2007. Effect of ventilation rate on gradient of aerial contaminants in the confinement pig building. Environmental Research. 103:352-357.
 16. Mackie, R. T., Stroot, P. G. and Varel, V. H. 1998. Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste. Journal of Animal Science. 76:1331-1342.
 17. Madelin, T. M. and Wathes, C. M. 1989. Air hygiene in a broiler house: Comparison of deep litter with raised netting floors. British Poultry. 30:23-37.
 18. Pearson, C. C. and Sharples, T. J. 1995. Airborne dust concentrations in livestock buildings and the effect of feed. Journal of Agricultural Engineering Research. 60:145-154.
 19. Straubel, H. 1981. Iektro-optische Messung von Aerosolen. Technisches Messen. 48:

199-210.

20. Takai, H., Moller, F., Iversen, M., Jorsal, S. E. and Bille-Hansen, V. 1995. Dust control in pig houses by spraying rapeseed oil. Transactions of the ASAE. 38:1513-1518.
21. Takai, H., Pederson, S., Johnsen, J. O., Metz, J. H. M., Koerkamp, P. W. G., Uenk, G. H., Phillips, V. R., Holden, M. R., Sneath, R. W., Short, J. L., White, R. P., Hartung, J., Seedorf, J., Schroder, M., Linkert, K. H. and Wathes, C. M. 1998. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. Journal of Agricultural Engineering Research. 70:59-77.
22. Varel, V. H. and Miller, D. N. 2001. Plant-derived oils reduce pathogens and gaseous emissions from stored cattle waste. Applied and Environmental Microbiology. 68:1366-1370.
23. Zhang, Y., Tanaka, A., Barber, E. M. and Feddes, J. J. R. 1996. Effects of frequency and quantity of sprinkling canola oil on dust reduction in swine buildings. Transactions of the ASAE. 39(3):1077-1081.
24. Zhu, J., Riskowski, G. L. and Torremorell, M. 1999. Volatile fatty acids as odour indicators in swine manure-A critical review. Transactions of the ASAE. 42:175-182.