

# 密閉式與開放式豬舍空氣污染防治

蕭庭訓 經營組

hsiaosir@mail.tlri.gov.tw

## 一、 中文摘要

密閉水簾式豬舍風扇出口處與開放式豬舍周界經安裝由遮陽網及微粒噴霧設備所組成之空氣污染防治設施，分別進行有無噴霧處理對空氣污染物之去除效果，結果顯示密閉式及開放式豬舍之臭味與氨氣濃度經噴霧處理為59.4與214.2 ppb 及86.4與2521 ppb顯著低於無噴霧處理 95.9與338.2 ppb 及106.2與5250 ppb ( $P < 0.05$ )，去除率分別為38.1%與36.7%及18.6%與52.0%。密閉式及開放式豬舍之三甲基胺與硫化氫濃度以噴霧處理分別為3.40與11.67 ppb 及3.27與33.1 ppb 低於無噴霧處理分別為5.51與23.0 ppb 及6.31與39.9，去除率分別為38.3%與49.3%及48.2%與17.0%。其他如甲硫醇、乙硫醇、硫化甲基、二硫化甲基等可能因豬舍環境中幾乎無該等空氣污染物或採集之樣品濃度太低而檢測不出。

關鍵詞：密閉式豬舍 (Water pad pig house)、開放式豬舍 (Open style pig house)、噴霧 (Spray)、空氣污染防治 (Air pollution control)

## 二、 前言

台灣養豬農家在過去一段很長時間處於小飼養規模，在民國64年，平均每戶飼養頭數不到10頭，一直到民國75年平均每戶飼養頭數近100頭，80年底台灣豬隻飼養頭數超逾1千萬頭，平均每戶飼養頭數超過250頭。養豬事業於75年以來竄升為台灣農業社會最重要的產業，年產值超越稻米成為台灣地區生產價值最高之農產品，依據農業統計年報(2007)統計，民國95及96年豬之年產量分別為930,609及913,824公噸，產值分別為55,476,552千元及57,003,312千元，分別佔畜產品生產之14.72%及14.68%，養豬業締造非凡之農業經濟榮景。

畜牧生產者飼養過程中所衍生環保問題包括廢水、廢棄物及空氣污染等，而畜牧場主要之空氣污染物有粉塵和臭味。臭味源自畜舍非單一特定之混合物質所造成 (National Academy of Sciences, 2003)且 Miner (1997)指出臭味是糞便中經厭氧發酵分解之揮發性有機酸混合物，豬糞中有超過100種成分。Kim *et al.* (2005)指出豬隻生產過程產生之空氣污染物分類為氣狀物、粒狀物質、懸浮微生物。豬舍內之空氣污染物由豬隻、飼料和糞便，且糞便為空氣污染物主要來源 (Leneman *et al.*, 1998; Ni *et al.*, 1999; Demmers *et al.*, 2003)；氣狀污染物包括氨氣、硫化氫、甲烷、二氧化碳、水及其他微量氣體如胺類 (amines)、氨基化合物 (amides)、醇類 (alcohols)、醛類 (aldehydes)、酮類 (ketones)、硫醇類 (mercaptans)、二硫

化物 (disulfides)、羰基化合物 (carbonyl sulfides) 和脂肪酸 (fatty acids) 等乃糞便被微生物分解產生；豬舍內粒狀污染物主要源自飼料、豬隻表皮代謝及乾糞便且空氣中粉塵粒徑大於  $1\ \mu\text{m}$  (Takai *et al.*, 1998)；生物性污染物包括空氣中病毒、細菌、真菌與內毒素等 (Crook and Sherwood -Higham, 1997)。

畜牧場空氣污染物之去除方式有從飼料營養著手，由源頭降低豬隻糞便揮發之臭味或以物理、化學及生物方法抑制臭味發生或減少臭味逸散。粉塵去除方式有從畜舍進出風口的設計、噴油、噴霧、濕餵、添加飼料添加劑等方法 (Takai and Pedersen, 2000)。臭味去除方法可於飼料中添加氯化鈣 (Calcium chloride)，可減少豬舍糞便散發氨氣達 33% (Canh *et al.*, 1998)；Colina *et al.* (2001) 同樣於飼料中添加 *Yucca schidigera* 抽出物或氯化鈣餵飼保育舍小豬，得到保育舍內較低之氨氣濃度。O'Neill *et al.* (1992) 提出臭味控制方法有熱焚化、觸媒焚化、吸附、吸收、生物洗滌、生物濾床、煙囪擴散、臭氧處理、紫外線處理及化學處理等方法，但因投資之處理成本太高，無法適用於畜牧業。

臭味為民眾直接接觸最敏感反應的空氣污染物，但卻一直缺乏一具體的防制及改善措施，畜牧場所產生的惡臭為民眾申訴的公害項目之一。故建立低成本、高效率且操作簡易之養豬場空氣污染物去除方式，提供養豬場空氣污染防制之參考，使養豬產業與環境保護得以兼顧並永續經營。

### 三、 試驗材料與方法

#### (一) 試驗畜舍與空氣污染防治設施：

(1) 密閉水簾式豬舍長 26m 寬 5.5m 為試驗豬舍，飼養 62 頭肉豬，於豬舍風扇出口處規劃空氣污染防治設施之配置圖如圖 1，空氣污染防治設施 (長 1200 cm，寬 550 cm，高 440 cm) 由鋁管支柱、I 形鋼橫樑及遮陽網搭配高壓噴霧設備組裝而成如圖 2，噴霧設施包括三相 3 馬力之高壓噴霧機及 3 組噴霧管線，每組噴霧管線長度 400 cm 安裝 20 個噴霧頭。噴霧機之操作壓力為  $30\ \text{kg}/\text{cm}^2$ 。

(2) 民間開放式養豬場飼養約 2000 隻豬，地形呈南北向，豬舍為東西向，本試驗所規劃空氣污染防治設施位於該場之東側，長約 60 m，高 2.43 m，由鋁管固定於磚造圍牆之底座作為支柱，以角鐵為橫樑，再以長 0.85 m 之鋁管與豬舍結構體連接固定，遮陽網裝設於圍牆與鋁管支柱間，以人工捲軸式開閉。噴霧設施包括三相 5 馬力之高壓噴霧機及 1 組長 60 m 之噴霧管線，每 50 cm 裝設乙只噴嘴總計裝設 120 只噴嘴。

(二) 空氣污染物採樣：分別於密閉式及開放式豬舍之空氣污染防治設施操作時紀錄風向、溫溼度、粉塵、氨氣、三甲基胺、臭味、甲硫醇、乙硫醇、硫化甲基、硫化氫等空氣污染物。各項分析方法如下：

(1) 粉塵之收集採用粉塵收集器 (Gast Manufacturing Co LTD, England.) 以

直徑 47mm，pore size 0.45 $\mu$ m 之濾紙採樣，採樣後將濾紙置於培養皿攜回實驗室。

- (2) 溫濕度之量測採用熱敏式溫濕度計 (Humidity Meter, Taiwan)，測量溼度範圍為 10%~95%，溫度量測範圍為 0~50 $^{\circ}$ C；溼度量測之解析度 0.1%，溫度量測之解析度 0.1 $^{\circ}$ C，溼度精確度為  $\pm 3\%$ ，溫度精確度為  $\pm 0.8^{\circ}$ C。
  - (3) 風速量測以熱線式風速計 (Hot Wire Anemometer, Taiwan)，量測範圍 0.2~20.0 m/s，解析度 0.1 m/s。
  - (4) 臭味採樣後以臭味及異味官能測定法—三點比較式嗅袋法測定 (NIEA A201.11A)。
  - (5) 氨氣以靛酚—分光光度計法分析 (NIEA A426.71B)
  - (6) 甲硫醇、乙硫醇、硫化甲基、硫化氫等空氣污染物以氣相層析—火焰光度偵測法 (NIEA A701.11C)。
- (三) 資料分析：密閉式與開放式豬舍之試驗資料分別以非成對 t 檢定與成對 t 檢定空氣污染物經噴霧與無噴霧處理間之差異 ( $\alpha=0.05$ )。

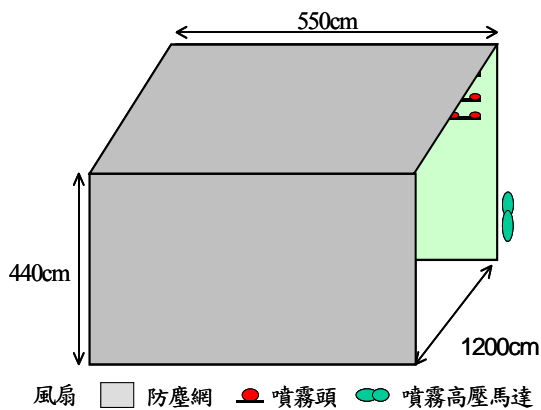


圖 1. 遮陽網搭配噴霧設施。



圖 2. 密閉式豬舍空氣污染防治設施。



圖 3. 開放式豬舍空氣污染防治設施外觀。

#### 四、 結果

##### (一) 密閉式豬舍空氣污染物去除

以空氣採樣袋採集密閉水簾式豬舍空氣污染防治設施之內(網內)及外(網外)之空氣樣品，以氣相層析火焰光度偵測法分析甲硫醇、乙硫醇、硫化甲基、二硫化甲基、硫化氫等空氣污染物；臭味以三點比較式嗅袋法測定之；氨氣以靛酚一分光光度計法分析。採樣時網內與網外之風速介於 0.4~2.9 m/s 與 0~0.6 m/s 之間，網內與網外之溫度介於 27.2~33.1°C 與 30.1~31.8°C 之間，網內與網外之溼度介於 67.6%~92.3% 與 70.2%~82.6%。試驗所得之資料以非成對 t 檢定空氣污染物經噴霧與無噴霧處理間之差異 ( $\alpha=0.05$ )。由表 1 顯示網外之臭味及氨氣濃度以噴霧處理顯著低於無噴霧處理 ( $P<0.05$ )，分別為 56.3 及 224.3 ppb 與 75.4 及 381.5 ppb，噴霧處理與無噴霧處理之三甲基胺及硫化氫濃度分別為 3.31、6.62 ppb 及 10.04、16.91 ppb。其他如甲硫醇、乙硫醇、硫化甲基、二硫化甲基等可能因豬舍環境幾乎無該等空氣污染物或者採集之樣品濃度太低而檢測不出。表 2 為採集空氣污染防治設施內(網內)之空氣樣品，探討經噴霧處理對密閉水簾式豬舍風扇出口處之空氣污染物之去除效果，網內之臭味以噴霧處理顯著低於無噴霧處理 ( $P<0.05$ )，分別為 65.0、119.0，氨氣、三甲基胺及硫化氫濃度經噴霧與無噴霧處理分別為 184.8、3.49 及 15.7 ppb 與 203.1、4.88 及 34.0 ppb，其他如甲硫醇、乙硫醇、硫化甲基、二硫化甲基等亦檢測不出。

表 1. 密閉式豬舍空氣污染防治設施外之空氣污染物濃度

Item (unit)	Treat	N	Mean	SD	Min	Max
臭味*	None	9	75.4	12.3	58.0	100.0
	Mist	11	56.3	17.8	25.0	81.0
氨氣*(ppb)	None	25	381.5	297.1	96.2	1293
	Mist	29	224.3	120.9	32.9	527
三甲基胺(ppb)	None	4	6.62	3.48	2.18	10.7
	Mist	4	3.31	1.28	1.97	4.65
硫化氫(ppb)	None	9	16.9	7.43	9.90	34.4
	Mist	10	10.0	2.61	6.80	14.4
甲硫醇				ND		
乙硫醇				ND		
硫化甲基				ND		
二硫化甲基				ND		

\*表示達顯著差異( $P<0.05$ )。

ND: 未檢測出。

表 2.密閉式豬舍空氣污染防治設施內之空氣污染物濃度

Item (unit)	Treat	N	Mean	SD	Min	Max
臭味*	None	8	119.0	52.0	67.0	175.0
	Mist	6	65.0	28.2	43.0	118.0
氨氣(ppb)	None	8	203.0	91.9	110.1	363.5
	Mist	10	184.8	83.4	45.9	276.9
三甲基胺(ppb)	None	7	4.88	2.03	2.45	8.38
	Mist	4	3.49	1.55	1.23	4.72
硫化氫(ppb)	None	5	34.0	31.2	8.30	86.0
	Mist	4	15.7	12.9	2.60	29.3
甲硫醇				ND		
乙硫醇				ND		
硫化甲基				ND		
二硫化甲基				ND		

\*, ND 符號同表 1

表 3.噴霧處理密閉式豬舍空氣污染空氣污染物濃度

Item (unit)	Treat	N	Mean	SD	Min	Max
臭味*	None	17	95.9	41.9	58.0	175.0
	Mist	17	59.6	21.6	25.0	118.0
Removal (%)			38.1			
氨氣*	None	33	338.2	272.2	96.2	1293
	Mist	39	214.2	112.8	32.9	527.3
Removal (%)			36.7			
三甲基胺	None	11	5.51	2.62	2.18	10.7
	Mist	8	3.40	1.32	1.23	4.72
Removal (%)			38.3			
硫化氫	None	14	23.0	20.2	8.30	86.0
	Mist	14	11.7	7.13	2.60	29.3
Removal (%)			49.3			

\*符號同表 1

表 3 為噴霧處理對密閉式豬舍風扇出口處之空氣污染物去除效果，臭味濃度以噴霧處理顯著低於無噴霧處理 ( $P < 0.05$ ) 為 59.4 及 95.9，去除率為 38.1%。氨氣濃度以噴霧處理顯著低於無噴霧處理 ( $P < 0.05$ ) 為 214.2 及 338.2 ppb，去除率為 38.1%。三甲基胺及硫化氫濃度以噴霧處理低於無噴霧處理分別為 3.40 及 11.67 ppb 與 5.51 及 23.02 ppb，去除率分別為 38.3% 及 49.3%。

## (二) 開放式豬舍空氣污染物去除

本試驗之養豬場為一貫式養豬場 (飼養公豬、母豬、乾母豬、懷孕豬、哺乳豬、保育豬、小豬、中豬及肥育豬)，位於台南縣善化鎮，飼養規模約 2000 隻豬，地形呈南北走向，豬舍為東西走向，南邊以農田水利灌溉溝渠與亞洲蔬菜研發中心相鄰。本試驗所規劃空氣污染防治設施長約 60 m，位於該場之東側。於該養豬場之空氣污染防治設施尚未搭建完成，先行收集開放式豬舍空氣污染物濃度之基本資料，空氣樣品於該場之東側周界處採集回實驗室，以氣相層析火焰光度偵測法分析甲硫醇、乙硫醇、硫化甲基、二硫化甲基、硫化氫等空氣污染物；臭味以三點比較式嗅袋法測定之；氨氣以靛酚一分光光度計法分析。採樣時之風向為南風及南南西風，風速介於 0~2.8 m/s，溫度 30.1~31.8°C，溼度介於 70.2~82.6%。開放式養豬場之周界空氣污染物背景值如表 4，臭味、氨氣、甲基胺及硫化氫分別為  $117.3 \pm 14.7$ 、 $250 \pm 42.9$  ppb、 $6.51 \pm 0.69$  ppb 及  $36.9 \pm 3.21$  ppb，其他如甲硫醇、乙硫醇、硫化甲基、二硫化甲基等可能因豬舍環境幾乎無該等空氣污染物或者採集之樣品濃度太低而檢測不出。

表 4 開放式養豬場之周界空氣污染物背景值

Item (unit)	N	Mean	SD	Min	Max
臭味	4	117.3	14.7	102	135
氨氣(ppb)	4	249.9	42.9	189.6	290.8
三甲基胺(ppb)	4	6.51	0.69	5.71	7.29
硫化氫(ppb)	4	36.9	3.21	33.4	40.5
甲硫醇	4			ND	
乙硫醇	4			ND	
硫化甲基	4			ND	
二硫化甲基	4			ND	

\* , ND 符號同表 1

該養豬場之空氣污染防治設施搭建完成後，進行噴霧處理去除空氣污染物試驗，於豬場東側周界採集空氣樣品回實驗室，分析臭味、氨氣、三甲基胺、硫化氫、甲硫醇、乙硫醇、硫化甲基、二硫化甲基等空氣污染物。採樣時之溫度介於 25~32.6°C，溼度介於 50.0~86.2%，風向為西風，風速介於 0~0.9 m/s。試驗所得之資料以成對 t 檢定有無噴霧處理之差異性，結果如表 5，臭味未經噴霧處理為  $106.2 \pm 29.0$ ，試驗期間量測之範圍介於 71~175 之間，臭味經噴霧處理為  $86.4 \pm 15.9$ ，範圍介於 65~109 之間，臭味經噴霧處理顯著低於未噴霧處理，去除率為 18.6%。氨氣經噴霧處理與未經噴霧處理分別為  $2521 \pm 2263$

(54~6265) ppb 與  $5250 \pm 5283(236\sim15166)$  ppb，以噴霧處理顯著低於未經噴霧處理組 ( $P < 0.05$ )，去除率達 52.0%。於豬場周界測得之三甲基胺與硫化氫在未噴霧處理及噴霧處理組分別為  $6.31 \pm 1.18$  與  $39.9 \pm 6.20$  及  $3.27 \pm 0.54$  與  $33.1 \pm 6.50$  ppb，噴霧處理對三甲基胺與硫化氫之去除率為 48.2%與 17.0%，噴霧處理均低於未噴霧處理，而硫化氫二處理間呈顯著差異 ( $P < 0.05$ )。甲硫醇、乙硫醇、硫化甲基、二硫化甲基等仍檢測不出。

表 5 開放式養豬場周界之空氣污染物去除效果

Item (unit)	Treat	N	Mean	SD	Min	Max
臭味*	None	12	106.2	29.0	71	175
	Mist	12	86.4	15.9	65	109
Removal (%)			18.6			
氨氣 (ppb) *	None	21	5250	5283	236	15166
	Mist	21	2521	2263	54	6265
Removal (%)			52.0			
三甲基胺 (ppb)	None	5	6.31	1.18	5.27	7.94
	Mist	5	3.27	0.54	2.79	4.18
Removal (%)			48.2			
硫化氫(ppb) *	None	12	39.9	6.20	28.2	49.2
	Mist	12	33.1	6.50	23.5	42.1
Removal (%)			17.0			

\*符號同表 1

## 五、 討論

密閉式豬舍風扇出口處與開放式豬舍周界之空氣污染物經噴霧處理如表 3 與表 5，臭味濃度以噴霧處理顯著低於無噴霧處理 ( $P < 0.05$ )，密閉式豬舍為 59.4 (25~118)及 95.9 (58~175)，開放式豬舍為 86.4 (65~109)及 106.2 (71~175)，Lim *et al.* (2001)以官能測定法評估 2 個豬場之保育舍進氣與排氣處之臭味平均分別為 18 (7~85) 與 199 (94~635)OU/m<sup>3</sup>，並指出當畜舍內溫度超過 25°C 則臭味濃度增加，溼度提高亦會提高臭味散發，有沖洗之豬舍較未洗之豬舍具較低臭味濃度，而 Zhu *et al.* (2000)在 475 頭保育豬舍風扇出口處之臭味濃度為 765 OU/m<sup>3</sup>，本試驗所得之臭味皆低於國外文獻之參考值，但仍高於行政院環境保護署 (2007)公告畜牧場周界排放標準，顯示養豬場之臭味經噴霧處理僅降低部分臭味濃度，仍須謀求策略改善。O'Neill *et al.* (1992)提出臭味控制方法有熱焚化、觸媒焚化、吸附、吸收、生物洗滌、生物濾床、煙囪擴散、臭氧處理、紫外線處理及化學處理等方法，但因投資之處理成本太高。Hartung *et al.* (2001)長期利用生物濾床法去除保育舍內臭味達 78~80%，Martens *et al.* (2001)利用乾糞便、椰子

皮、木屑及堆肥木屑混合物作為生物濾床之基質，對於臭味去除可達 40~83%。本試驗對於密閉式豬舍與開放式豬舍之臭味以噴霧處理分別有 38.1% 與 18.6% 之去除率，雖較上述文獻之生物濾床為差，但投資成本較低。

氨氣從畜舍釋放出來造成嚴重的環境問題 (Hartung and Phillips, 1994)，其中氨氣來源為尿酸、尿素、胺和未消化蛋白質中之氮分解。影響氨氣散發之重要因子為溫度、pH、水分含量 (Groot Koerkamp, 1994)。密閉式豬舍風扇出口處與開放式豬舍周界之氨氣濃度以噴霧處理顯著低於無噴霧處理 ( $P < 0.05$ ) 如表 3 與表 5，密閉式豬舍為 214.2 (32.9~527.3) 及 338.2 (96.2~1293) ppb，開放式豬舍為 2521 (54~6265) ppb 與 5250 (236~15166) ppb，去除率分別為 38.1% 及 52.0%，本試驗之開放式豬舍氨氣濃度與張等 (1997) 指出豬場環境內氨氣低於 5 ppm 較為類似，但低於國外文獻值如 Predicala *et al.* (2001) 指出在自然通風和機械通風豬舍測得氨氣濃度平均為 6.6 ( $< 1 \sim 17.1$ ) ppm 和 11.9 (5.2~24.7) ppm。Groot Koerkamp *et al.* (1998) 調查北歐國家豬場之氨氣濃度範圍為 12.1~18.2 ppm，平均為 14.8 ppm。密閉式豬舍風扇出口處與開放式豬舍周界之臭味與氨氣經遮陽網搭配噴霧處理可降低部分空氣污染物濃度，雖然有成效但臭味與氨氣之濃度仍高於環保署 (2007) 公告之畜牧場周界排放標準，且臭味與氨氣濃度範圍之最高與最低值差異非常大，顯示養豬場之臭味與氨氣濃度變異很大。

依據空氣污染防治法規 (行政院環境保護署，2007) 公告畜牧場周界法定三甲基胺及硫化氫濃度限值為 20 及 100 ppb，本試驗不論密閉式豬舍或者開放式豬舍所量測得資料均遠低於周界排放標準如表 3 與表 5。密閉式豬舍之三甲基胺及硫化氫濃度以噴霧處理低於無噴霧處理分別為  $3.40 \pm 1.32$  及  $11.67 \pm 7.13$  ppb 與  $5.51 \pm 2.62$  及  $23.02 \pm 20.16$  ppb，去除率分別為 38.3% 及 49.3%。於開放式豬場周界測得之三甲基胺及硫化氫在噴霧處理及未噴霧處理分別為  $3.27 \pm 0.54$  及  $33.1 \pm 6.50$  ppb 與  $6.31 \pm 1.18$  及  $39.9 \pm 6.20$  ppb，噴霧處理對三甲基胺與硫化氫之去除率為 48.2% 與 17.0%。本試驗之硫化氫濃度不論密閉式豬舍或開放式豬舍均低於張等 (1997) 指出豬場環境內硫化氫低於 0.2 ppm。且密閉式豬舍或者開放式豬舍之空氣污染物中的甲硫醇、乙硫醇、硫化甲基、二硫化甲基等可能因豬舍環境幾乎無該等空氣污染物或者採集之樣品濃度太低而檢測不出。

## 六、 結論與建議

利用遮陽網及微粒噴霧設備所組成之空氣污染防治設施分別裝設於密閉水簾式豬舍風扇出口處與開放式豬舍周界，對於臭味與氨氣去除率分別為 38.1% 與 36.7% 及 18.6% 與 52.0%，顯示養豬場之臭味與氨氣濃度經本空氣污染防治設施可降低部分污染程度。本法對於密閉式及開放式豬舍之三甲基胺與硫化氫濃度去除率分別為 38.3% 與 49.3% 及 48.2% 與 17.0%，且均低於法定周界排放標準，其他如甲硫醇、乙硫醇、硫化甲基、二硫化甲基



等可能因豬舍環境幾乎無該等空氣污染物或者採集之樣品濃度太低而檢測不出。本空氣污染防治設施對於豬舍之臭味與氨氣雖有去除效果，但部份分析值仍高於行政院環境保護署 (2007)公告畜牧場周界法定排放標準，應謀求策略對應。

## 七、參考文獻

- 行政院農業委員會。2007。農業統計年報。行政院農業委員會編印。  
<http://www.coa.gov.tw/>。
- 行政院環境保護署。2007。空氣污染防治法規。行政院環境保護署環境保護人員訓練所編印。
- 張靜文、鍾弘、黃金鳳、蘇慧貞。1997。養豬場作業環境暴露危害研究。勞工安全衛生研究季刊。5(3): 1~22。
- Canh, T. T., A. J. A. Aarnink, Z. Mrog, A. W. Jongbloed, J. W. Schrama and M. W. A. Verstegen. 1998. Influence of electrolyte balance and acidifying calcium salts in the diet of growing-finishing pigs on urinary pH, slurry pH and ammonia volatilization from slurry. *Lives. Prod. Sci.* 56: 1-13.
- Crook, B. and J. L. Sherwood-Higham. 1997. Sampling and assay of bioaerosols in the work environment. *J. Aerosol Sci.* 28: 417-426.
- Demmers, T. G. M., C. M. Wathes, P. A. Richards, N. Teer, L. L. Taylor, V. Bland, J. Goodman, D. Armstrong, D. Chennells, S. H. Done and J. Hartung. 2003. A facility for controlled exposure of pigs to airborne dusts and gases. *Biosyst. Eng.* 84: 217-230.
- Groot Koerkamp, P. W. G. 1994. Review on emissions of ammonia from housing systems for laying hens. In relation to sources, processes, building design and manure handling. *J. Agric. Eng. Res.* 59: 73-87.
- Groot Koerkamp, P. W. G., J. H. M. Metz, G. H. Uenk, V. R. Philips, M. R. Holden, R. W. Sneath, J. L. Short, R. P. White, J. Hartung, J. Seedorf, M. Schröder, K. H. Linkert, S. Pedersen, H. Takai, J. O. Johnsen and C. M. Wathes. 1998. Concentrations and emissions of ammonia in livestock building in Northern Europe. *J. Agric. Eng. Res.* 70(1): 79-95.
- Hartung, E., T. Jungbluth and W. Büscher. 2001. Reduction of ammonia and odor emissions from a piggery with biofilters. *Transactions of the ASAE.* 44(1): 113-118.
- Hartung, J. and V. R. Phillips. 1994. Control of gaseous emissions from livestock buildings and manure stores. *J. Agric. Eng. Res.* 57: 173-189.
- Kim, K. Y., H. J. Ko, K. J. Lee, J. B. Park and C. N. Kim. 2005. Temporal and spatial distributions of aerial contaminants in an enclosed pig building in winter. *Environ. Res.* 99: 150-157.
- Leneman, A. D., K. W. Oudendag and P. H. M. van der Hoek. 1998. Focus on emission factors: a sensitivity analysis of ammonia emission modeling in the Netherlands. *Environ. Pollut.* 102: 205-210.
- Lim, T. T., A. J. Heber, J. Q. Ni, L. Sutton and D. T. Kelly. 2001. Characteristics

- and emission rates of odor from commercial nurseries. *Transactions of the ASAE*. 44(5),1275-1282.
- Martens, W., M. Martinec, R. Zapirain, M. Stark, E. Hartung and U. Palmgren. 2001. Reduction potential of microbial, odour and ammonia emissions from a pig facility by biofilters. *International Journal of Hygiene and Environment Health*. 203(4):335-345.
- Miner, J. R. 1997. Nuisance concerns and odor control. *Journal of Dairy Science*. 80(10): 2667-2672.
- National Academy of Sciences. 2003. National Academy of Sciences. Air emissions from animal feeding operations: Current Knowledge, Future Needs. National Academies Press. Washington, DC.
- Ni, J. Q., C. Vinckier, J. Coenegrachts and J. Hendriks. 1999. Effect of manure on ammonia emission from a fattening pig house with partly slatted floor. *Livest. Prod. Sci.* 59: 25–31.
- O'Neill, D. H., I. W. Stewart and V. R. Phillips. 1992. A review of the control of odour nuisance from livestock buildings. 2. The costs of odour abatement systems as predicted from ventilation requirements. *J. Agric. Eng. Res.* 51(3): 157-165.
- Takai, H. and S. Pedersen. 2000. A comparison study of different dust control methods in pig buildings. *Applied Engineering in Agriculture*. 16(3): 269-277.
- Takai, H., S. Pedersen, J. O. Johnsen, J. H. M. Metz, P. W. G. G. Koerkamp, and J. L. Short. 1998. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *J. Agric. Eng. Res.* 70(1): 59-77.
- Zhu, J., L. D. Jacobson, D. R. Schmidt and R. E. Nicolai. 2000. Daily variations in odor and gas emissions from animal facilities. *Appl. Eng. In Agric.* 16(2): 153-158.