

許振忠^{1*}

一、前言

伴隨著人類經濟活動之活躍而產生溫室氣體放入大氣中，其中以二氧化碳(CO₂)、氟氯碳化合物(CFC₅)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)等為主，這些氣體在大氣中不斷累積，導致過去百年來地球地表平均溫度明顯上升(Houghton *et al.*, 1992)。大氣中之CO₂過去200年約上升25%；而CH₄與N₂O濃度之年增率分別約為0.8-1.0%與0.2-0.3%（日本畜產技術協會，2000）。人類活動對地球環境變遷具有深遠之影響，為了擴充耕植面積及畜牧生產，而燒毀森林地造成森林破壞；另一方面，石化燃料燃燒排放廢氣，礦產開採造成土壤破壞等均會產生地球溫暖化、臭氧層破壞、森林破壞、海洋污染、大氣污染、土壤沙漠化與沖刷、酸雨、水質污染、重金屬污染、生物多樣性減少等現象。為改善地球環境之問題，國際間已召開過許多會議討論，為減緩溫室氣體產生之持續惡化，聯合國環境規劃署與世界氣象組織早於1988年11月即設立政府間氣候變遷小組(Inter-governmental Panel on Climate Change; IPCC)，就此問題進行深入研究，其中於1997年12月時制訂「京都議定書」設定強制削減溫室氣體之目標值及政策措施，並設置議定書交涉會議。我國雖非聯合國一員，但基於地球村之一份子，向來均善盡保護地球責任與遵守國際公約之規範，故我國近幾年來學術界與研究單位，即積極進行各部門之溫室氣體排放之測量與估算。農業活動為人為溫室氣體(CO₂、CH₄、N₂O)來源之一；農業活動之溫室氣體約佔人為溫室氣體量之1/5(IPCC, 1994)。畜牧生產為農業活動之一環，所排放之溫室氣體量普受重視，與畜牧有關者，主要為CH₄，其次為氧化亞氮。在畜牧生產過程中所產生之溫室氣體，主要來自動物胃腸道內發酵及排泄物處理；胃腸道內發酵之溫室氣體主要來自動物消化過程所產生之CH₄，其中以反芻動物最多，豬其次，雞最少；排泄物在無氧狀態下分解亦主要產生CH₄，但堆肥則產生大量之N₂O(Cole *et al.*, 1995；IPCC, 1996)。

我國之畜牧生產，在反芻動物之飼養數量比例低，主要畜牧生產之養豬業，其廢水處理大都採用三段式處理法，與美、加、澳等土地廣大國家比較，在處理模式上具有差異，因此溫室氣體產生亦有不同。本文彙整台灣畜牧產業溫室氣體排放係數，統計我國畜牧業CH₄、N₂O等溫室氣體排放量，並探討各種可能之減量措施與技術，提供相關部門與產業界之參考。

¹國立中興大學動物科學系

二、 畜牧生產之主要溫室氣體排放量估算

台灣地區主要禽畜之溫室氣體排放量之估算，包括：1.禽畜胃腸道內發酵之溫室氣體排放量；2.禽畜排泄物處理之溫室氣體排放量，分厭氧發酵與堆肥處理。禽畜種類包括雞（白肉雞、有色肉雞、產蛋雞）、火雞、鴨（肉鴨、產蛋鴨）、鵝、豬、牛（乳牛、黃牛與雜種牛、水牛）、羊、鹿、馬等。在反芻動物消化過程中，碳水化合物被微生物分解所產生之 CH_4 為禽畜胃腸道內發酵最主要之溫室氣體來源（圖 1）。反芻動物瘤胃內氣體之平均組成分為 CH_4 ，27%； CO_2 ，65%； N_2 ，7%； O_2 ，0.6%。其中 CO_2 有 1/4 至 1/3 由瘤胃壁擴散至血液中由肺排出，而 CH_4 則否； CH_4 之另一來源為禽畜排泄物處理過程所產生者。而 N_2O 主要是由禽畜排泄物發酵處理產生者（圖 2）。

（一）近 10 年台灣地區主要禽畜飼養數量或屠宰隻數

近 10 年底台灣地區主要禽畜飼養數量或屠宰隻數，列如表 1。

（二）溫室氣體排放係數及排放量

包括：1.食物在動物體內胃腸道消化時，由於胃腸道內微生物發酵分解食物所排放之氣體，其中以 CH_4 為主，且以反芻動物最多。禽畜胃腸道內氣體之排放量，受禽畜種類，年齡體重、飼糧品質及給飼量之影響；2.禽畜排泄物處理產生之溫室氣體，主要為 CH_4 與 N_2O 。茲將禽畜胃腸道內發酵之溫室氣體排放係數估算，列如表 2。此表數值乃是依據國內測定值，如國內無測定值者，則參考 IPCC 公佈之數據，二者均無者，則參考相近之動物依體重換算估計，故本文所列之數據為估算值，提供參考。

依表 2 之排放係數估算，台灣地區近 10 年禽畜胃腸發酵及其排泄物處理時 CH_4 排放量，列如表 3 至表 5；而估算 N_2O 之排放量則列如表 6；台灣地區最近 10 年禽畜飼養之溫室氣體排放趨勢，列示如圖 3；不同禽畜間之 CH_4 與 N_2O 排放比例，列示如圖 4 與圖 5。

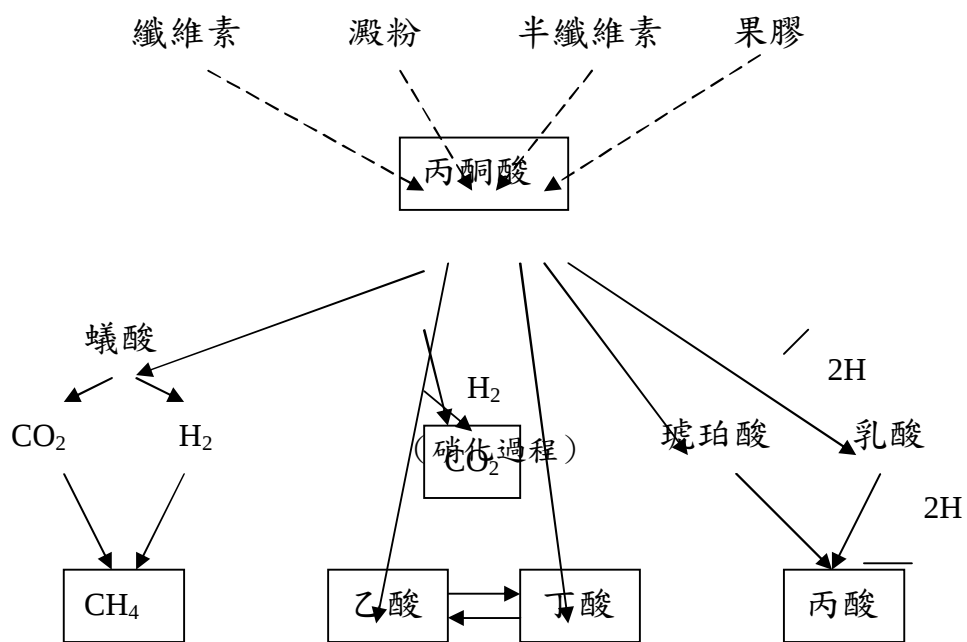


圖 1. 反芻胃內碳水化合物發酵徑路簡圖。

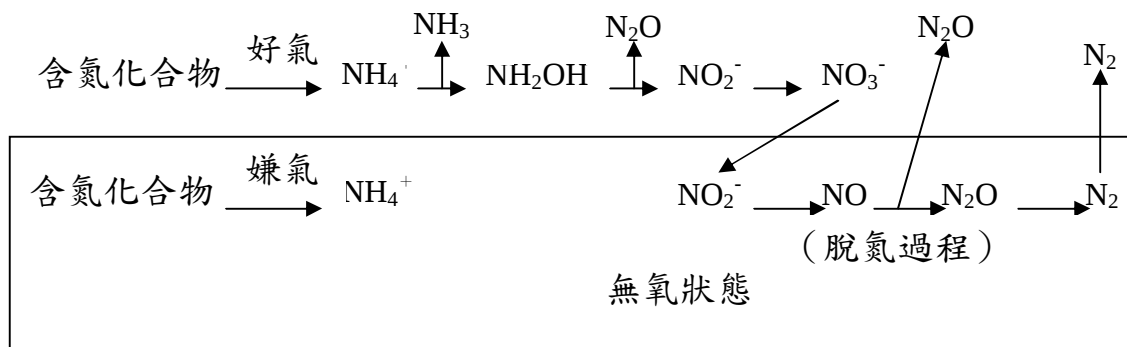


圖 2. 家畜排泄物處理過程氧化亞氮之生成。(日本畜產技術協會，2000)

表 1. 1998-2007 年底台灣地區在養禽畜頭數（頭／隻）⁽¹⁾

項目	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
乳牛	134,037	135,984	136,514	133,718	132,957	132,263	128,286	122,457	102,012	102,661
水牛	8,556	9,189	7,767	6,531	5,370	4,912	4,962	4,101	3,538	3,452
黃牛與雜種牛	22,806	20,075	17,419	12,258	11,132	11,695	11,545	11,384	32,446	34,362
山羊	273,438	237,295	202,491	184,717	161,858	155,565	164,342	178,123	195,712	186,898
乳山羊	129,106	125,840	112,554	99,388	87,871	85,462	85,020	85,419	76,326	67,817
兔	54,534	42,971	40,204	41,523	38,174	32,343	32,343	29,059	21,707	16,209
鹿	22,487	21,200	20,020	21,189	19,689	19,576	19,827	20,212	23,122	23,296
馬	624	564	780	805	822	810	810	1,111	1,168	1,222
豬	6,538,596	7,243,194	7,494,954	7,164,605	6,793,941	6,778,799	6,818,970	7,194,768	7,091,822	6,640,047
雞										
產蛋雞	35,223,000	35,866,000	36,031,000	35,364,000	35,420,000	35,817,000	35,301,000	34,693,000	37,236,046	36,249,730
有色肉雞 ⁽²⁾	175,215,00	175,328,000	173,627,000	161,987,000	164,406,000	156,508,000	145,809,000	143,323,000	138,953,990	135,530,000
白肉雞 ⁽²⁾	189,535,00	185,077,000	191,202,000	189,288,000	188,667,000	190,127,000	207,440,000	169,898,054	181,848,334	177,413,000
火雞 ⁽²⁾	432,000	488,000	500,000	458,000	387,000	364,000	386,000	376,070	334,654	301,000
鴨										
肉鴨 ⁽²⁾	33,603,000	33,159,000	32,075,000	30,158,000	29,065,000	29,084,000	30,546,000	31,816,000	36,039,068	35,024,000
產蛋鴨	2,913,000	2,893,000	2,921,000	2,813,000	2,784,000	2,876,000	2,513,000	2,581,000	2,518,541	2,673,804
鵝 ⁽²⁾	7,955,000	7,464,000	6,503,000	6,330,000	6,178,000	6,402,000	6,540,000	6,450,111	6,723,327	5,873,000

(1) 行政院農業委員會，2008

(2) 以屠宰隻數估計。

表 2. 禽畜胃腸道內發酵及其排泄物處理之溫室氣體排放係數⁽¹⁾

項目	CH ₄ 排放係數		N ₂ O 排放係數
	胃腸發酵	排泄物處理	
	kg/ head/ yr.		
乳牛 ⁽²⁾	101.58	4.98	2.557×10 ⁻²
水牛	64.00	2.00	2.557×10 ⁻²
黃牛與雜種牛 ⁽³⁾	44.00	1.00	6.480×10 ⁻⁴
山羊	5.00	0.18	1.476×10 ⁻⁴
乳山羊	6.10	0.22	1.805×10 ⁻⁴
兔	0.254	0.009	4.2185×10 ⁻⁶
鹿	5.00	0.18	1.476×10 ⁻⁴
馬	18.00	2.10	6.480×10 ⁻⁴
豬	1.782	0.768	2.164×10 ⁻³
雞			
產蛋雞	1.061×10 ⁻²	4.000×10 ⁻¹	3.680×10 ⁻³
有色肉雞 ⁽⁴⁾	8.482×10 ⁻⁵	4.760×10 ⁻³	6.430×10 ⁻⁶
白肉雞 ⁽⁴⁾	1.587×10 ⁻⁵	4.760×10 ⁻³	6.430×10 ⁻⁶
火雞 ⁽⁴⁾	1.152×10 ⁻⁴	3.453×10 ⁻²	4.690×10 ⁻⁵
鴨			
肉鴨 ⁽⁴⁾	2.071×10 ⁻³	6.759×10 ⁻³	9.180×10 ⁻⁶
產蛋鴨	1.980×10 ⁻³	3.380×10 ⁻²	4.590×10 ⁻⁵
鵝 ⁽³⁾	3.674×10 ⁻³	1.251×10 ⁻²	1.699×10 ⁻⁵

(1) 資料來源：

王，2000；李等，2000a；李等，2000b；李等，2000c；林，1999；黃與王，2000；劉等，1999；蔡等，2003；蘇等，2000；Chen *et al.*, 2003; IPCC，1996；NRC，1988；shibata *et al.*, 1993。

(2) 包括：泌乳牛、乾乳牛、生長女牛等依比例之平均值。

(3) 包括肉用乳公牛。

(4) 單位為kg/ head/ life cycle。

表 3. 台灣地區 1998-2007 年禽畜胃腸道內發酵之 CH₄ 排放量估算 (ton)

項目	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
乳牛	13,615.48	13,813.25	13,867.09	13,583.07	13,505.77	13,435.28	13,031.29	12,439.18	10,362.38	10,428.30
水牛	547.58	588.10	497.09	417.98	343.68	314.37	317.57	262.46	226.43	220.93
黃牛與雜種牛	1,003.46	883.30	766.44	539.35	489.81	514.58	507.98	500.90	1,427.62	1,511.93
山羊	1,367.19	1,186.48	1,012.46	923.59	809.29	777.83	821.71	890.62	978.56	934.49
乳山羊	787.55	767.62	686.58	606.27	536.01	521.32	518.62	521.06	465.59	413.68
兔	13.85	10.91	10.21	10.55	9.70	8.22	8.22	7.38	5.51	4.12
鹿	112.44	106.00	100.10	105.95	98.45	97.88	99.14	101.06	115.61	116.48
馬	11.23	10.15	14.04	14.49	14.80	14.58	14.58	20.00	21.02	22.00
豬	11,651.78	12,907.37	13,356.01	12,767.33	12,106.80	12,079.82	12,151.40	12,821.08	12,637.63	11,832.56
雞										
產蛋雞	373.72	380.54	382.29	375.21	375.81	380.02	374.54	368.09	395.07	384.61
有色肉雞	14.86	14.87	14.73	13.74	13.94	13.28	12.37	12.16	11.79	11.50
白肉雞	3.01	2.94	3.03	3.00	2.99	3.02	3.29	2.70	2.89	2.82
火雞	0.05	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03
鴨										
肉鴨	69.59	68.67	66.43	62.46	60.19	60.23	63.26	65.89	74.64	72.53
產蛋鴨	5.77	5.73	5.78	5.57	5.51	5.69	4.98	5.11	4.99	5.29
鵝	29.23	27.42	23.89	23.26	22.70	23.52	24.03	23.70	24.70	21.58
合計	29,606.78	30,773.41	30,806.22	29,451.86	28,395.50	28,249.66	27,953.02	28,041.42	26,754.47	25,982.85

表 4. 台灣地區 1998-2007 年禽畜排泄物處理時 CH₄ 排放量估算 (ton)

項目	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
乳牛	667.50	677.20	679.84	665.92	662.13	658.67	638.86	609.84	508.02	511.25
水牛	17.11	18.38	15.53	13.06	10.74	9.82	9.92	8.20	7.08	6.90
黃牛與雜種牛	22.81	20.08	17.42	12.26	11.13	11.70	11.55	11.38	32.45	34.36
山羊	49.22	42.71	36.45	33.25	29.13	28.00	29.58	32.06	35.23	33.64
乳山羊	28.40	27.68	24.76	21.87	19.33	18.80	18.70	18.79	16.79	14.92
兔	0.49	0.39	0.36	0.37	0.34	0.29	0.29	0.26	0.20	0.15
鹿	4.05	3.82	3.60	3.81	3.54	3.52	3.57	3.64	4.16	4.19
馬	1.31	1.18	1.64	1.69	1.73	1.70	1.70	2.33	2.45	2.57
豬	5,021.64	5,562.77	5,756.12	5,502.42	5,217.75	5,206.12	5,236.97	5,525.58	5,446.52	5,099.56
雞										
產蛋雞	14,089.20	14,346.40	14,412.40	14,145.60	14,168.00	14,326.80	14,120.40	13,877.20	14,894.42	14,499.89
有色肉雞	834.02	834.56	826.46	771.06	782.57	744.98	694.05	682.22	661.42	645.12
白肉雞	902.19	880.97	910.12	901.01	898.05	905.00	987.41	808.71	865.60	844.49
火雞	14.92	16.85	17.27	15.81	13.36	12.57	13.33	12.99	11.56	10.39
鴨										
肉鴨	227.12	224.12	216.79	203.84	196.45	196.58	206.46	215.04	243.59	236.73
產蛋鴨	98.46	97.78	98.73	95.08	94.10	97.21	84.94	87.24	85.13	90.37
鵝	99.52	93.37	81.35	79.19	77.29	80.09	81.82	80.69	84.11	73.47
合計	22,077.96	22,848.27	23,098.86	22,466.23	22,185.65	22,301.85	22,139.56	21,976.18	22,898.71	22,108.01

表 5. 台灣地區 1998-2007 年禽畜生產之總 CH₄ 排放量估算 (ton)

項目	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
乳牛	14,282.98	14,490.46	14,546.93	14,248.99	14,167.90	14,093.95	13,670.16	13,049.02	10,870.40	10,939.56
水牛	564.70	606.47	512.62	431.05	354.42	324.19	327.49	270.67	233.51	227.83
黃牛與雜種牛	1,026.27	903.38	783.86	551.61	500.94	526.28	519.53	512.28	1,460.07	1,546.29
山羊	1,416.41	1,229.19	1,048.90	956.83	838.42	805.83	851.29	922.68	1,013.79	968.13
乳山羊	815.95	795.31	711.34	628.13	555.34	540.12	537.33	539.85	482.38	428.60
兔	14.34	11.30	10.57	10.92	10.04	8.51	8.51	7.64	5.71	4.26
鹿	116.48	109.82	103.70	109.76	101.99	101.40	102.70	104.70	119.77	120.67
馬	12.54	11.34	15.68	16.18	16.52	16.28	16.28	22.33	23.48	24.56
豬	16,673.42	18,470.14	19,112.13	18,269.74	17,324.55	17,285.94	17,388.37	18,346.66	18,084.15	16,932.12
雞										
產蛋雞	14,462.92	14,726.94	14,794.69	14,520.81	14,543.81	14,706.82	14,494.94	14,245.29	15,289.49	14,884.50
有色肉雞	848.89	849.43	841.19	784.80	796.52	758.25	706.42	694.37	673.21	656.62
白肉雞	905.19	883.90	913.16	904.01	901.05	908.02	990.71	811.41	868.48	847.30
火雞	14.97	16.91	17.32	15.87	13.41	12.61	13.37	13.03	11.59	10.43
鴨										
肉鴨	296.71	292.79	283.22	266.30	256.64	256.81	269.72	280.94	318.22	309.26
產蛋鴨	104.23	103.51	104.51	100.65	99.61	102.90	89.92	92.35	90.11	95.67
鵝	128.74	120.80	105.24	102.44	99.98	103.61	105.84	104.39	108.81	95.05
合計	51,684.74	53,621.68	53,905.08	51,918.10	50,581.15	50,551.52	50,092.58	50,017.60	49,653.18	48,090.86

表 6. 台灣地區 1998-2007 年禽畜排泄物處理時之 N₂O 排放量估算 (kg)

項目	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
乳牛	3,427.33	3,477.11	3,490.66	3,419.17	3,399.71	3,381.96	3,280.27	3,131.23	2,608.45	2,625.04
水牛	218.78	234.96	198.60	167.00	137.31	125.60	126.88	104.86	90.47	88.27
黃牛與雜種牛	14.78	13.01	11.29	7.94	7.21	7.58	7.48	7.38	21.03	22.27
山羊	40.36	35.02	29.89	27.26	23.89	22.96	24.26	26.29	28.89	27.59
乳山羊	23.30	22.71	20.32	17.94	15.86	15.43	15.35	15.42	13.78	12.24
兔	0.23	0.18	0.17	0.18	0.16	0.14	0.14	0.12	0.09	0.07
鹿	3.32	3.13	2.95	3.13	2.91	2.89	2.93	2.98	3.41	3.44
馬	0.40	0.37	0.51	0.52	0.53	0.52	0.52	0.72	0.76	0.79
豬	14,149.52	15,674.27	16,219.08	15,504.21	14,702.09	14,669.32	14,756.25	15,569.48	15,346.70	14,369.06
雞										
產蛋雞	129,620.64	131,986.88	132,594.08	130,139.52	130,345.60	131,806.56	129,907.68	127,670.24	137,028.65	133,399.01
有色肉雞	1,126.63	1,127.36	1,116.42	1,041.58	1,057.13	1,006.35	937.55	921.57	893.47	871.46
白肉雞	1,218.71	1,190.05	1,229.43	1,217.12	1,213.13	1,222.52	1,333.84	1,092.44	1,169.28	1,140.77
火雞	20.26	22.89	23.45	21.48	18.15	17.07	18.10	17.64	15.70	14.12
鴨										
肉鴨	308.48	304.40	294.45	276.85	266.82	266.99	280.41	292.07	330.84	321.52
產蛋鴨	133.71	132.79	134.07	129.12	127.79	132.01	115.35	118.47	115.60	122.73
鵝	135.16	126.81	110.49	107.55	104.96	108.77	111.11	109.59	114.23	99.78
合計	150,441.60	154,351.94	155,475.86	152,080.56	151,423.25	152,786.67	150,918.12	149,080.49	157,781.34	153,118.14

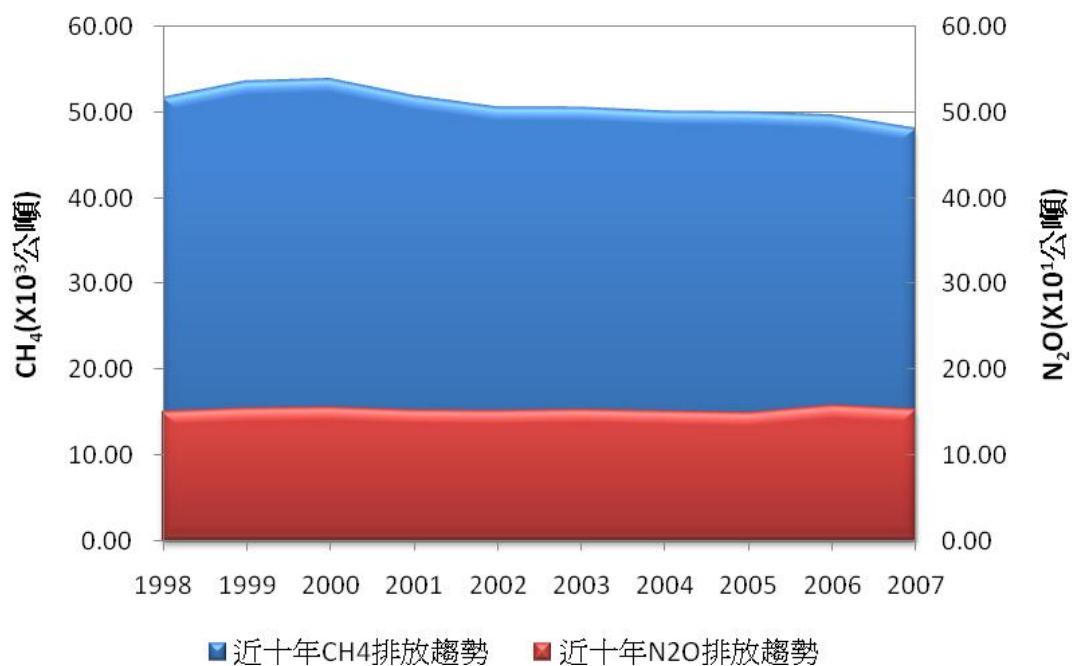


圖 3. 台灣地區 1998-2007 年禽畜飼養之溫室氣體排放趨勢

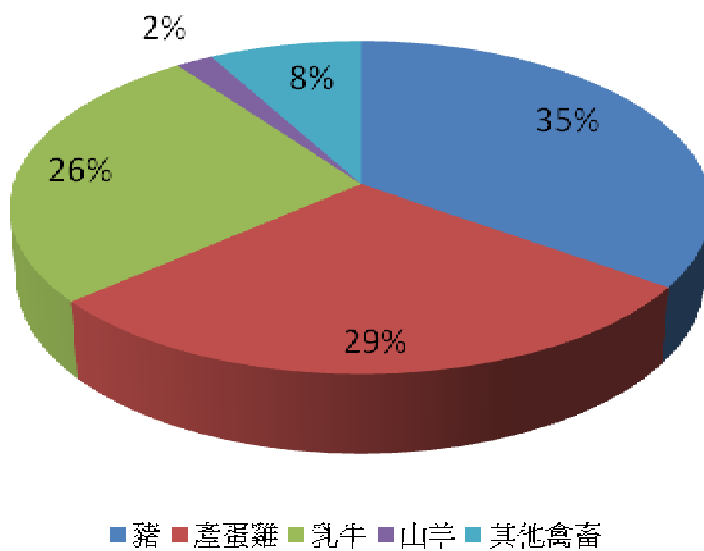


圖 4. 台灣地區 1998-2007 年不同禽畜間之 CH₄ 排放比例 (平均)

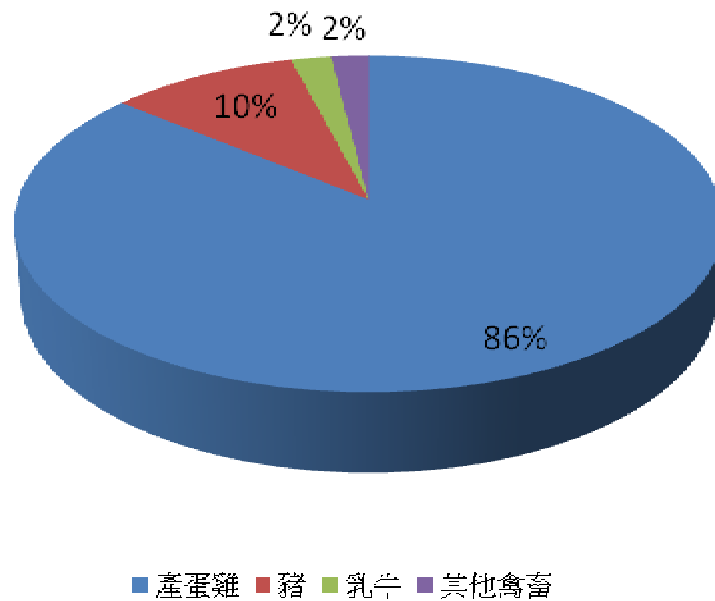


圖 5. 台灣地區 1998-2007 年不同禽畜間之 N_2O 排放比例(平均)

由以上之估算顯示，台灣地區最近 10 年來禽畜養殖之 CH_4 產生量介於 48.09 至 53.92 千公噸間，以 2007 年最低為 48.09 千公噸(表 5)。以 2004 年為例，台灣地區禽畜養殖胃腸道所產生之 CH_4 約為 27.95 千公噸(表 3)，與 FAO (2006) 估計 2004 年全世界畜牧（不含家禽）胃腸道一年所排放之 CH_4 量為 8.56×10^4 千噸比較，約佔 0.033%；而禽畜排泄物處理所產生之 CH_4 量為 22.14 千公噸(表 4)，此與 FAO (2006) 之報告，全世界家畜排泄物處理之 CH_4 產生量為 1.75×10^4 千噸比較，約佔 0.127%。另方面，在 N_2O 之產生量方面，2004 年台灣地區約為 150.92 公噸，此與 FAO (2006) 估計 2004 年全世界禽畜排泄物處理之 N_2O 排出量為 3.69×10^6 公噸比較，僅佔 0.0041%，其量甚微。

三、 畜牧生產溫室氣體之減量措施

（一）禽畜胃腸道內發酵產生之溫室氣體減量措施

由以上推估得知，台灣地區 2007 年禽畜胃腸道內發酵產生之溫室氣體， CH_4 之排放量佔整個畜牧產業排放量之 54.03% 最高，故在減量措施應以降低胃腸道內發酵產生之 CH_4 為主要方向，而 CH_4 之排放係數以反芻動物最高，故由反芻動物著手最為有效。我國豬隻飼養數量多，由胃腸道發酵排放之 CH_4 ，亦佔相當大比例，因此亦為減量之重點。

1.提高禽畜之生產效率

此可由遺傳、育種選拔繁殖生產能力優良之禽畜供飼養繁殖及改善禽畜之飼料營養等二方面著手。以泌乳牛為例，栗原等（1996）之研究顯示，4% 乳脂肪校正乳量（FCM, kg/ day）與每kg FCM 之 CH_4 產生量（ C CH_4 , L/ kg FCM/ day）之關係，為 CH_4 產生量雖隨著 FCM 產量之提高而增加，但每kg FCM 產量之 CH_4 產生量隨著 FCM 產量之提高而降低，例如乳牛之 FCM 產量由 20 kg 提高至 30 kg，增加率為 50%，則每日每頭乳牛之 CH_4 產生量增加 16%，而每kg FCM 產量之 CH_4 產生量減少 23%，亦即以 30 kg FCM 之乳牛群與 20 kg FCM 之乳牛群比較， CH_4 之產生量減少 23%。其他禽畜亦類似，且此種現象在生產效率低之情況下更為明顯，故為減少生產每單位禽畜產物之 CH_4 產生量，必需不斷改善禽畜之生產性能，未來或可藉由生物技術之手段，來提高禽畜之生產性能。改善飼料營養及禽畜營養平衡，可提高飼料利用效率，亦可減少每單位生產物之 CH_4 產生量，尤其在使用多量品質差之農產副產物時，將農產物切斷、青貯料化、蒸煮處理、鹼處理或其他適當處理方法，以提高利用效率，皆可減少 CH_4 之產生量。

Moss（1994）之報告指出，蒿稈類經鹼或胺化處理後飼養反芻動物，可降低 CH_4 之產生量。以上顯示，品質不良之粗飼料經過化學處理，改善其營養狀況，可減少反芻動物採食後之 CH_4 產生量。Leng（1991）之報告指稱，將尿素、礦物質等添加糖蜜後製成塊狀，或再添加過瘤胃蛋白質（by-pass protein），在印度等開發中國家應用，顯示可改善瘤胃微生物之增殖效率及消化過程蛋白質/能量比，因而改善反芻動物之生產效率，減少單位生產物之 CH_4 產生量達 25~75%。以上乃說明藉由改善飼料營養與動物營養平衡，提高生產效率可減少由禽畜胃腸道中 CH_4 之排放量。單胃動物飼糧打粒可降低 CH_4 之排放量 20-40% (Wittenberg, K. and D. Boadi, 2001)。

2.改善飼糧之供給技術

反芻動物胃腸道中 CH_4 之產生量，會因給與飼料之不同而有差異，給與高蛋白質飼料時較低，而給與高纖維質飼料時則較高，因此提高飼料中蛋白質含量，而降低纖維含量，為降低反芻動物胃腸道中 CH_4 產生量方法之一。但蕭等（1999）之報告顯示，荷蘭乾乳牛飼糧精料自 0 增加到 50% 時，有促進 CH_4 產生量之趨勢，推測是由其顯著增加採食量、乾物質消化率及瘤胃揮發性脂肪酸（VFA）所致；而精料增加至 70% 時，因瘤胃 pH 值及乙丙酸比降低，因而導致 CH_4 之產生量減少，亦即在高芻料或高精料之飼糧情況下，均有減少 CH_4 產生量之趨勢；但高芻料組之失重與高精料組瘤胃 pH 值降低及成本增加之現象，在實用上此種方式並不實際。

使用高品質之苜蓿與玉米青貯料，可降低 CH_4 之產生量 10~12%，因其含低量之中洗纖維（NDF）及較高量之蛋白質（表 7）（Kume, 2001）。同樣，李等（2000a）以三種省產牧草製成青貯料（玉米株、狼尾草、盤固草）飼餵荷蘭泌乳牛，結果顯示，泌乳牛胃腸道中 CH_4 產生量，以青貯玉米飼糧較低；當以降低泌乳牛溫室氣體產量為主要目的時，青貯玉米飼糧應是較適當的選擇。另一方面，李等（2000a）則是建議以狼尾草青貯飼糧飼餵乾乳牛其 CH_4 日產量為每頭 264L，明顯低於飼餵盤固草或玉米株青貯飼糧之每頭 340L 與 350L，降低幅度平均達 23%；在生長女牛則以狼尾草與玉米株兩種飼糧較盤固草適當，但狼尾草飼糧乾物質採食量偏低，以玉米株青貯較佳。飼糧之給飼方法亦會影響 CH_4 之產生，乳牛給與完全混合日糧（TMR）與粗料及精料分開給與比較，因 TMR 在瘤胃內停留時間較短，故 CH_4 之產生量較低（板橋，1995）。

3. 餵飼脂肪或脂肪酸

反芻動物瘤胃內 CH_4 生成之基質為 H_2 (如圖 2)，故飼料中添加不飽和脂肪會因加氫作用，可減少 H_2 供給，因而抑制 CH_4 之產生，例如給與 1 分子量含 3 個雙鍵之次亞麻油酸 ($\text{C}_{18:3}$)，理論上可減少 0.75 個分子量之 CH_4 ，不過實際試驗結果為可減少 2 個分子量以上；另方面，在飽和脂肪酸之棕櫚酸與硬脂酸亦有減少 CH_4 產生量之效果 (日本畜產技術協會，2000；Kreuzer *et al.*, 2001)。以近年來為提高乳量與乳脂而添加保護之油脂，也因提供不飽和脂肪酸而可減少 CH_4 產生量 10~15% (板橋，1995)。綿羊飼糧添加菜籽油亦可降低胃腸道中 CH_4 之產量 (Horiguchi and Takahashi, 2001)。山羊投與各種脂肪酸鈣 4% 之研究顯示，脂肪酸鈣對飼料之消化率無不良影響，但可減少 CH_4 之生成，隨著不飽和度之增加，減少 CH_4 生成之效果提高，不過應留意嗜口性問題 (日

表 7. 妊娠乳母牛餵飼苜蓿之能量利用率與 CH_4 產生量

	苜蓿比例			SE
	0	20	35	
原料				
苜蓿青貯	0	20	35	
牧草青貯或乾草	70	50	35	
精料	30	30	30	
營養分				
粗蛋白質 (CP)	16.7	16.0	16.5	
酸洗纖維 (ADF)	32.6	30.9	33.9	
中洗纖維 (NDF)	53.8	46.6	47.4	
平衡試驗				
母牛頭數	2	4	2	
體重, kg	752	745	784	30
乾物質採食量, kg/ d	8.41	8.93	10.21	0.45
消化率, %				
乾物質	68.6	64.3	67.0	1.0
粗蛋白質	67.0	61.2	68.5	2.3
酸洗纖維	65.3 ^a	53.8 ^b	56.8 ^b	1.4
中洗纖維	66.7 ^a	55.3 ^b	57.4 ^b	1.6
消化能/總能, %	69.0	64.8	67.0	0.8
代謝能/總能, %	53.0	54.1	52.6	0.6
CH_4 , l/d	319.3 ^d	298.5 ^d	415.1 ^c	5.8
CH_4 /乾物質採食量, l/ kg	38.0 ^c	34.4 ^d	40.7 ^c	0.9

^{a, b} $P < 0.10$, ^{c, d} $P < 0.05$

Kume, 2001

本畜產技術協會，2000)；但不飽和脂肪酸如未加保護，多量給與時會影響瘤胃微生物之活性，而造成飼料消化率降低(板橋，1995)。Holter and Young (1992)以泌乳牛進行試驗，結果顯示棉籽與脂肪酸鈣之投與，有減少 CH_4 生成之效果。但就反芻動物能量代謝之觀點而言， C_{18} 脂肪酸投與時很容易蓄積脂肪，而 C_{12} 以下之脂肪酸在代謝過程可能完全被氧化，不易蓄積，故未來在不同用途之反芻動物，對脂肪酸之選擇，投與方法及投與量等問題有待進一步探討。

4. 氫離子劑 (Ionophores) 及其他飼料添加物之使用

CH_4 生成抑制劑自古即有人探討，Ionophores 會影響細胞膜之通透性，影響瘤胃微生物之代謝活性，改變瘤胃之發酵，投與此種物質後，代謝性氫多量使用於形成丙酸(圖2)，而致使 CH_4 生成量減少，並可提高飼料利用效率，例如 monensin、salinomycin 及 Lasalocid 等即屬此類，在肉牛使用可減少 CH_4 之生成 16~24% (Hobson, 1988)。但 Ionophores 物質會抑制纖維之分解，在含纖維量高之飼料中之實用性低，而在含多量澱粉之飼料添加較有利。Thornton and Owens (1981)之報告顯示，去勢牛在低、中及高等不同粗料水準之飼糧中添加 monensin，均可使瘤胃中之丙酸濃度上升，而提高飼料利用效率，並減少 CH_4 之產生量，此種減少之程度，以含高纖維之飼糧較含低纖維者為多。肉牛飼糧中添加 salinomycin 可降低 CH_4 之產生量 15%，且瘤胃中丙酸產生量增加，但瘤胃中原蟲數量減少；如與延胡索酸 (fumaric acid) 一併添加則瘤胃原蟲數量增加，且降低 CH_4 之效果相同 (Itabashi, 2001)。Rumpler *et al.* (1986) 之研究結果指稱，投與 Ionophores 對公牛瘤胃中之 CH_4 產生量雖影響不顯著，但與鈉離子併用時，則在 monensin 與 Lasalocid 處理組則有減少產生量之效果。由以上之研究結果顯示，Ionophores 之投與效果，與反芻動物之飼糧組成不同而異，未來有必要再進一步探討。乳牛飼糧中添加 L-蘋果酸鹽 (L-malate)，2-iodopropane- α -cyclodextrin 化合物 (CD-IP) 亦可抑制 CH_4 及 H_2 之產生量 (Mohammed *et al.*, 2001)。綿羊飼糧中添加丙酸鹽前驅物如丙烯酸鹽 (acrylate) 或延胡索酸鹽 (fumarate) 6.25mmol/天，亦有降低瘤胃 CH_4 之產生量 (Newbold *et al.*, 2001) (表 8、9)。單胃動物飼糧中添加酵素如: amylase、 β -glucanase 亦可降低 CH_4 之產生量 (Wittenberg, K. and D. Boadi, 2001)。

5. 投與賀爾蒙改善禽畜生產性能

藉由賀爾蒙之添加改善禽畜生產效率，亦可減少 CH_4 之產生量。例乳牛投與 Bovine somatotropin (BST) 等之生長賀爾蒙提高泌乳量、飼料採食量，改善生理、健康狀態及繁殖性能，因而使單位牛乳之 CH_4 產生量減少，也可減少乳牛飼養頭數；在美國如全部泌乳牛均使用，推估可減少 9% 之 CH_4 產生量 (Johnson *et al.*, 1991)。EPA (1990) 之報告指稱，使用 BST 之所以會減少 CH_4 之產生量，乃因①泌乳牛維持之營養分需要量降低，此部分使每單位乳量減少 CH_4 產生量 3~5%，②牛群中乾乳牛與育成牛數量可減少 (約 15%)。不過 bST 在台灣及世界諸多國家尚未准予使用，且在投與量、投與時之飼養技術、經濟性等多項問題尚待進一步研究。McCrabb (2001) 亦指稱，肉牛給與賀爾蒙生長促進劑 (如 oestradiol)，因可促進生長，改善飼料效率，縮短上市體重之飼養時間，故可降低 CH_4 之排放量 (圖 5)。

6. 去除瘤胃中之原蟲

瘤胃中諸多 CH_4 生成菌附著在原蟲體表及棲息在細胞內，故調整瘤胃中之原蟲，可減少 CH_4 之生成。除去瘤胃中之原蟲可使 CH_4 之產生量減少 20~45% (Hobson, 1988)。飼糧中添加鋅，可使原蟲減少，纖維分解菌減少， CH_4 之產生量亦隨之減少 (Kurihara *et al.*, 1997)。Whitelaw *et al.* (1984) 以經無原蟲處理之牛隻試驗發現，每單位能量攝取量可減少 40% 之 CH_4 產生量。但原蟲對纖維具有強的分解能力，如將原蟲完全去除，將會造成降低纖維之消化率等之問題。不過 CH_4 生成菌在原蟲體表面附著之比例，因原蟲種類不同而異，Epidinium 原蟲等之附著比例較低 (Vogels, 1980)。故如何選擇性地去除原蟲，使纖維之消化率不致低下，且可達到減少 CH_4 產生量之效果，為重要之課題。McCrabb *et al.* (1997) 研究發現 bromochloromethane (BCM) 與 cyclodextrin (CD) 添加於飼糧中，可降低瘤胃中 CH_4 之排放，而未影響纖維之消化。Itabashi *et al.* (1999) 亦獲得相同之結果。此種化合物可抑制 CH_4 生成作用之原蟲。

7. 其他

如改善動物之熱緊迫，可改善動物之生產效率，因而減少 CH_4 之產生量，改善熱緊迫之方法很多，如畜禽舍之改良，改善隔熱措施，畜禽舍噴霧降溫，採用水簾式畜禽舍等是；改善牛隻之繁殖效率，減少牛群中繁殖牛隻頭數，可減少單位生產物之 CH_4

產生量；應用動物免疫法刺激瘤胃微生物或應用 Archaeal 病毒之生物控制，降低 CH₄ 之生成作用，也可達到降低 CH₄ 排放效果（Baker, 1999; Klieve and Hegarty, 1999），唯這些方法均尚在研究中。另方面，使瘤胃之發酵狀態達到最適當，及使瘤胃中 VFA 之產生，將 H₂ 多利用於丙酸之生成，自然減少 CH₄ 之產生量，未來或可使用生物技術，改變瘤胃微生物之分佈與機能達到此項目的。

表 8. 添加丙酸鹽前驅物對 in vitro 發酵之影響

	CH ₄ (μ mol/ d)	C2 (μ mol/ d)	C3 (μ mol/ d)	C4 (μ mol/ d)	H 回收率(%)
Control	636	1420	458	187	95.0
Acrylate	546 ab	1519	696 ab	113 b	88.2
Aspartate	596	1556 a	666 ab	205	89.9
Citrate	614	2162 ab	495 b	206	68.4
Fumarate	582 b	1515	730 ab	198	91.9
2-Oxoglutarate	552 ab	1841 ab	505 b	242 ab	72.0
Lactate	641	1579 ab	609 ab	270 ab	89.3
Malate	613	1600 ab	693 ab	227 ab	89.5
Pyruvate	586 b	1643 ab	506 b	202	81.9
Tartrate	654	1769 ab	436 b	222 ab	81.0
Propionate	663	1450	904 a	194	106.3

a 與 b 表示處理組與對照組間有顯著差異。

Newbold *et al.*, 2001

表 9. 添加丙烯酸鹽與廷胡索酸鹽 (6.25mmol/天) 對人工瘤胃發酵液 pH 與揮發性脂肪酸及氣體產生之影響

	對照	丙烯酸鹽	廷胡索酸鹽	s.e.d.
pH	6.71	6.71	6.78	0.26
Acetate	16.3	17.3	17.9	0.98
Propionate	7.6	9.7	10.4	0.58**
Butyrate	8.1	8.6	9.6	1.02
Hydrogen	0.34	0.26	0.27	0.085
Methane	2.46	2.12	1.78	0.161*

*P<0.05, **P<0.01

Newbold *et al.*, 2001

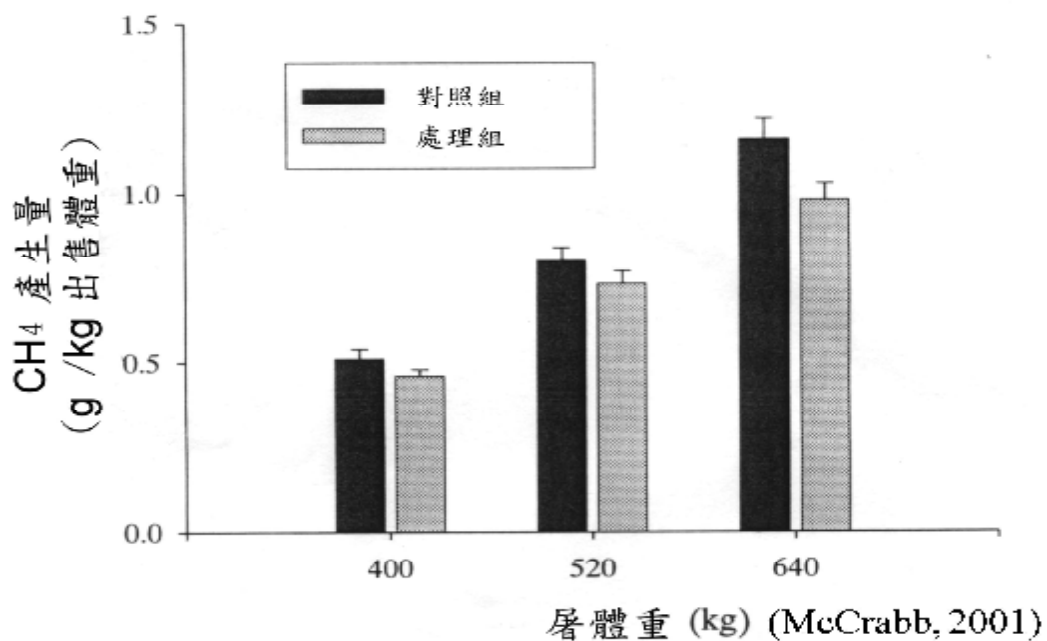


圖 5.肉牛以賀爾蒙生長促進劑處理之 CH₄ 產生量

(二) 禽畜排泄物處理產生之溫室氣體減量措施

禽畜排泄物處理過程中，於厭氣發酵處理過程會產生 CH₄ 及 N₂O 等之溫室氣體。台灣地區禽畜排泄物處理之方式，主要為堆肥處理及廢水三段式處理，在厭氣發酵之階段將產 CH₄ 與 N₂O 之溫室氣體。

1. CH₄ 之減量措施

(1) 排泄物採堆肥方式處理

在台灣牛糞之處理，以堆肥方式處理所產生之 CH₄ 量較厭氣發酵所產生者為少，若再採用攪拌堆肥方式處理，則可再進一步降低 CH₄ 之產生量，例如本省乾乳牛每頭

每日牛糞堆肥 CH_4 排放量平均為 579mL，因此每年每頭牛牛糞處理之 CH_4 排放係數為 150g；若採用攪拌堆肥方式，則其排放係數降低為 43g，有效降低 CH_4 之產生量（李等，2000c）。

（2）強制通氣

堆積式之堆肥發酵，如使用強制通氣，則僅在堆肥發酵開始之第 1 天產生 CH_4 ，以後即不再產生（Kuroda *et al.*, 1996），因此以強制通氣充分供給氧氣，可有效減少堆肥所產生之 CH_4 。Osada *et al.* (1995;2000) 亦指稱堆肥管理使用強制通風系統，維持在好氧之狀態下，可抑制 CH_4 之排放。

（3）增加翻堆次數

王（2000）之報告指稱，家禽排泄物堆肥處理如增加翻堆次數，應可有效降低堆肥製作之溫室氣體排放。因增加翻堆次數可增加通氣量，使堆積物處於較氧化狀態，碳化合物轉化成 CO_2 機會增加，則可減少 CH_4 之產生量。

（4）禽畜糞尿資源化

近年來已有研究利用禽畜糞尿，如豬糞尿生產燃料油或利用其產生之 CH_4 合成甲醇，降低 CH_4 排放入空氣中（郭等，2008；Lin, *etal.*, 2001），此方面之研究尚有待努力。

（4）其他

確實實施排泄物分離，減少排泄物厭氧發酵產生 CH_4 ，故畜舍設計可排泄物分離者為佳；排泄物應儘速清除出舍外；高床式雞舍下之排泄物應保持乾燥，抑制微生物之活動等（板橋，1995），可減少 CH_4 之產生。

2. N_2O 之減量措施

促進廢肥再利用於作物生產體系，可減緩農業生態系中 N_2O 之釋放量（Mosier *et al.*, 1996），而禽畜排泄物堆肥過程增加翻堆次數及增加通氣量，使堆積物處於較氧化狀態，較有利於硝化作用之進行，可減少厭氧下脫氮作用生成之 N_2O （王，2000）。豬排泄物強制通氣堆肥化試驗亦顯示，通氣量越多， N_2O 之產生量越少，通氣量為 $40\sim 80\text{L}/\text{m}^3\cdot\text{min}$ 時，與通氣量不足之 $20\text{L}/\text{m}^3\cdot\text{min}$ 比較時，前者 N_2O 之產生量僅為後者之 1/10，故在堆肥過程應維持通氣良好（ $50\sim 300\text{L}/\text{m}^3\cdot\text{min}$ ），但通氣量多雖可抑制 N_2O 之產

生量，但會增加 NH_3 之產生量，故二者之間應取得平衡（日本畜產技術協會，2000）；如將豬糞堆肥加入土壤中，並浸水將可減少 N_2O -N 之釋放（趙，1990）；另方面，在堆肥水分調整之材料選擇及微生物之接種等均與堆肥時 N_2O 之產生有關，其技術有待進一步之探討（日本畜產技術協會，2000）。Osada *et al.* (1995) 指稱，豬廢水處理採用間歇性曝氣遠較連續性曝氣之 N_2O 產生量為低。

五、參考文獻

- 行政院農業委員會。2008。畜牧業農情調查。取自：
<http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=10681>。
- 日本畜產技術協會。2000。畜産にあける温室効果ガスの発生制御。第四集。pp 11~13, 96
- 王淑音。2000。台灣地區家禽産業温室氣體排放之探討（II）。行政院農委會科技計畫研究報告。
- 王淑音、黃大駿、許皓豐。2001。肉雞糞尿處理温室氣體排放之推估。臺灣農業化學與食品化學 39（6）：415-422。
- 李春芳、蕭宗法、陳吉斌、劉秀洲。2000a。温室氣體產量測定及減量對策—反芻動物甲烷排放及減量對策（II）：省產牧草對荷蘭牛泌乳性能與温室氣體產量的影響。八十八年度國科會/環保署科技合作研究計畫報告書。
- 李春芳、蕭宗法、陳吉斌。2000b。反芻動物甲烷排放及減量對策(III)：本省荷蘭種乾乳牛與生長女牛胃腸道甲烷產量測定。八十八年度國科會/環保署科技合作研究計畫報告書。
- 李春芳、蕭宗法、陳吉斌。2000c。氣候變遷與畜牧生產間交互影響之探討（一）乳牛場牛糞堆肥的温室氣體產量測定。行政院農委會科技計畫研究報告。
- 林志勳。1999。豬隻生產中温室氣體排放之探討。八十八年度氣候變遷對畜牧業影響之研究計劃成果報告彙編。pp 26-30。行政院農委會編印。
- 板橋久雄。1995。纖維の消化が畜産におけるソタン生成の制御。畜産の研究49：1319~1324。
- 栗原光規、西田武弘。1996。地球環境研究総合推進會。平成7年度研究成果報告集（分冊II）。pp 624~627。環境廳企畫調整局地球環境部。

郭猛德、蕭庭訓、林聰樂。2008。畜禽糞尿產製甲醇之研究。行政院農委會畜產試驗所主管科技計畫。

黃大駿、王淑音。2000。台灣地區白色肉雞產業之溫室氣體排放。中國畜牧學會會誌 29 (1)：65~75。

趙震慶。1990。溫室氣體通量測定及減量對策(II)——畜產排泄物堆積及施用之氧化亞氮釋出及減量對策(11)。pp143~154。楊盛行編。國立台灣大學全球變遷中心、國立台灣大學農業化學系、國立台灣大學農業陳列館。

蔡明宏、陳筱薇、黃楷翰、林政緯、王淑音。2003。肉鴨腸內發酵溫室氣體排放係數。中畜會誌。29(1)：65~75。

蕭宗法、劉秀洲、陳吉斌、李春芳。1999。飼糧精芻料比對荷蘭種乾乳牛胃腸道甲烷產量的影響。中畜會誌 28 (4)：437-449。

蘇忠楨、劉必揚、張原志。2000。養豬業排泄物處理所產生之溫室氣體產量探討。行政院農業委員會科技計畫研究報告。

Baker, 1999. Biology of rumen methanogens and stimulation of animal immunity. In. Methane from Livestock-Understanding emissions and mitigation options. Proceedings. Bureau of Resource Sciences. Canberra Nov. 4. 1998. pp29~37. (cited by Hegarty, 2001).

Chen, Y. H., S. Y. Wang and J. C. Hsu. 2003. Effect of caecectomy on body weight gain, intestinal characteristics and enteric gas production in goslings. Asian-Aust. J. Anim. Sci.16(7):1030~1034.

Cole, V., C. Cerri, K. Minami, A. Mosier, N. Rosenberg and D. Sanerback. 1995. Agricultural Options for mitigation of greenhouse gas emission. Climate Change. P. 745-771. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K.

EPA. 1990. Methane emissions and opportunities for control. Workshop results of intergovernment panel on climate change. U. S. EPA. (cited by 日本畜產技術協會，2000).

FAO. 2006. Livestock Long shadow.

Hobson, P. N.(Ed). 1988. The rumen microbial ecosystem, Elsevier Applied Science, London and New York.

Holter, J. B. and A. J. Young. 1992. Methane production in dry and lactating Holstein Cows. J. Dairy Sci. 75: 2165~2175.

Horiguchi, K. and T. Takahashi. 2001. Control of methane emission from expiratory gas by

supplement of rapeseed oil in sheep fed with different ratios of roughage and concentrate. *Greenhouse Gases and Animal Agriculture*. pp359~362.

Houghton, J. T., B. A. Callander and S. K. Vareney. 1992. *Climate Change Intergovernmental Meteorological Organization*, Cambridge Univ. Press.

IPCC. 1994. *Intergovernmental Panel on Climate Change. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge Univ. Press.

IPCC. 1996. *Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Vol. 3.

Itabashi, H. 2001. Reducing ruminal methane production by chemical and biological manipulation. *Greenhouse Gases and Animal Agriculture*. pp106~111.

Klieve, A. and R. S. Hegarty. 1999. Opportunities for biological control of methanogenesis. *Austr. J. Agric. Res.* 50:1315~1319.

Kreuzer, M., F. Dohme, O. R. Kulling, F. Sutter, P. Lischer and H. Menzi. 2001. Animal and manure-derived methane emissions as affect by dietary fatty acids and manure storage system. *Greenhouse Gases and Animal Agriculture*. pp260~263.

Kume, S. 2001. Establishment of profitable dairy farming system on control of methane production in Hokkaido region. *Greenhouse Gases and Animal Agriculture*. pp53~61.

Kurihara, M., M. Shibata, T. Nishida, A. Purnomoadi and F. Terada. 1997. Methane production and its dietary manipulation in ruminants. In *rumen microbes and digestive physiology in ruminants*. R. Onodera, H. Itabashi, K. Ushida, H. Yano and Y. Sasaki(Eds). 199. Japan Sci. Soc. Press. Tokyo. Karger, Basel.

Leng, R. A. 1991. Improving ruminant production and reducing methane emissions from ruminants by strategic supplementation, U. S. EPA. EPA 400/1~91/004. Washington, D. C.(cited by 日本畜産技術協會，2000).

Lin, L., W. B. Richard, I. Enrique.2001. Reaction-transport simulations of non-oxidative methane conversion with continuous hydrogen removal-homogeneous-heterogeneous reaction pathways. *Chem. Engin. Sci.* 56:1869-1881.

McCrabb, G. J. 2001. Nutritional options for abatement of methane emissions from beef and dairy systems in Australia. *Greenhouse Gases and Animal Agriculture*. pp82~91.

McCrabb, G. J., K. T. Berger, T. Magner, C. May and R. A. Hunter. 1997. Inhibiting methane production in Brahman cattle by dietary supplementation with a novel compound and the effects on growth. *Aust. J. Agric. Res.* 48:323~329.

Mohammed, N., N. Ajisaka, Z. A. Lila, Koji Hara, K. Mikuni, Kozo Hara, S. Kanda and H. Itabashi. 2001. In vitro inhibition of microbial methane production by chemicals.

Greenhouse Gases and Animal Agriculture. pp367~370.

- Mosier, A. R., J. M. Duxbury, J. R. Freney, O. Heinemeyer and K. Minami. 1996. Nitrous oxide emission from agricultural fields: Assessment, measurement and mitigation. *Plant and Soil* 181: 95~108.
- Moss, A. R. 1994. Methane production by ruminants-Literature review of I . Dietary manipulation to reduce methane production and II . Laboratory procedures for estimating methane potential of diets. *Nutr. Abs. Rev. (Series B)* 64: 785~806.
- Newbold, C. J., J. O. Ouda, S. Lopez, N. Nelson, H. Omed, R. J. Wallace and A. R. Moss. 2001. Propionate precursors as possible alternative electron acceptors to methane in ruminal fermentation. *Greenhouse Gases and Animal Agriculture*. pp272~274.
- NRC. 1988. Nutrient requirements of dairy cattle. Sixth Revised Ed. National Academy Press. Washington. D. C.
- Osada, T., K. Kuroda and M. Yonaga. 1995. Reducing nitrous oxide gas emissions from fill and draw type activated sludge process. *Wat. Res.* 29: 1607~1608.
- Osada, T., K. Kuroda and M. Yonaga. 2000. Determination of nitrous oxide, methane and ammonia emissions from swine waste composting process. *J. Master. Cycles Waste Manag.* 2: 51~56.(cited by Terada, 2001)
- Rumpler, W. V., D. E. Johnson and D. B. Bates. 1986. The effect of high dietary cation concentration on methanogenesis by steers fed diets with and without ionophores. *J. Anim. Sci.* 62: 1737~1741.
- Shibata, M., F. Terada, M. Kurihara, T. Nishida and K. Iwasaki. 1993. Estimation of methane production in ruminants. *Anim. Sci. Technol. (JPn)* 64: 790-796.
- Thornton, J. H. and F. N. Owens. 1981. Monensin supplementation and in vivo methane production by steers. *J. Anim. Sci.* 52: 629~634.
- Vogels, G. D. 1980. Association of methanogenic bacteria with rumen ciliates. *Appl. Environ. Microbiol.* 40: 608.
- Whitelaw, F. G., J. Margaret Eadie, L. A. Bruce and W. J. Shand. 1984. Methane formation on fannated and ciliate-free cattle and its relationship with rumen volatile fatty acid pro-portions. *Br. J. Nutr.* 52: 261~275.
- Wittenberg, K. and D. Boadi. 2001. Reducing greenhouse gas emissions from livestock agriculture in Manitoba. *Greenhouse Gases and Animal Agriculture*.