

第五章 農業部門 (CRF SECTOR 4)

- 5.1 部門概述
- 5.2 牲畜腸胃發酵
- 5.3 畜牧糞尿管理
- 5.4 水稻種植
- 5.5 農業土壤
- 5.6 草原的焚燒
- 5.7 作物殘體燃燒

第五章

農業部門 (CRF SECTOR 4)

5.1 部門概述

國家溫室氣體排放清冊之計算與活動數據，係依據聯合國氣候變化政府間專家委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 於 1996 年出版修訂版國家溫室氣體排放清冊指南 (Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 以下簡稱 1996 IPCC 指南) 第四章所述，農業部門溫室氣體排放共分為：4.A.「牲畜腸胃發酵」(甲烷)、4.B.「畜牧糞尿處理」(甲烷和氧化亞氮)、4.C.「水稻種植」(甲烷)、4.D.「農業土壤」(氧化亞氮)、4.E.「草原焚燒(臺灣不列入計算)」、4.F.「作物殘體燃燒」(甲烷和氧化亞氮)、4.G.「其他(臺灣不列入計算)」。

本文計算二氧化碳當量(carbon dioxide equivalent, CO₂e)所使用之甲烷與氧化亞氮之全球暖化潛勢(Global warming potential, GWP)，分別為 21 與 310^[1]。

其中 4.A.「牲畜腸胃發酵」及 4.B.「畜牧糞尿處理」之計算，依 1996 IPCC 指南，指人類所飼養的家畜及家禽，至於野生動物因生態

過於複雜不予列計；另當作燃料使用及廢水的排放則在能源部門與廢棄物部門計算。

表 5.1.1 為臺灣 1990 至 2012 年農業部門溫室氣體排放清單，使用 1996 IPCC 指南部門方法計算所得之 1990 至 2002 年臺灣農業部門排放之二氧化碳總量趨勢圖如圖 5.1.1，從 1990 年起呈現逐年下降的趨勢，主要與三段式禽畜糞尿處理與耕地面積下降有關，合理化施肥的推廣亦有助溫室氣體的減量。自 2011 年起行政院農業委員會積極推動小地主大佃農、活化休耕地等政策，耕作面積增加，導致溫室氣體排放量略為增加。臺灣 2012 年農業部門溫室氣體排放源占比如圖 5.1.2，農業土壤 68.66% 為最大占比，其他如牲畜腸胃發酵占 13.32%、畜牧糞尿處理占 5.79%、水稻種植占 12.04%、作物殘體燃燒占 0.19%。

5.2 牲畜腸胃發酵 (4.A)

牲畜腸胃發酵是指人類飼養的家畜，消化過程中腸胃發酵所產生的甲烷量；草食動物腸胃發酵所產生的甲烷量大於雜食動物所產生者，而草食動物中反芻類所產生的甲烷量又較非反芻類大。

1. 排放源及匯分類的描述：

甲烷是動物腸胃發酵的副產物，在消化的過程中透過微生物將碳水化合物分解成較小的分子，然後被血液所吸收，以提供動物體所需

[1] IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

的養分；惟微生物分解作用中同時會產生甲烷等氣體，其中又以反芻動物產生之甲烷最多。雖然反芻動物腸胃發酵所產生的甲烷量遠大於非反芻動物者，然臺灣地處亞熱帶，且無宗教之束縛，牲畜飼養以豬及雞為主，牛、羊等反芻動物飼養量相對少，馬飼養頭數更少，另因境內河川溪流密布，鴨、鵝等水禽飼養極具本土特色。

在腸胃發酵生成甲烷部分，家禽之研究為臺灣特色，因此 1996 IPCC 指南雖未估算家禽

類，臺灣仍將自 1989 年起的研究成果計入，其研究並細分為家禽 - 白色肉雞、家禽 - 有色肉雞、家禽 - 蛋雞、家禽 - 鵝及家禽 - 肉鴨；而乳牛之研究排放係數雖大於 IPCC 預設值，但與畜牧大國使用之本土係數反較相近。因此臺灣牲畜類腸胃發酵甲烷排放量之估算方法，亦大致依據 1996 IPCC 指南之原則如表 5.2.1，係統計國內飼養量大或有研究者，如牛、山羊、豬、雞、鵝及鴨，至於馬之排放量分別未及總排放量之 5%，而綿羊、駱駝、駱馬及騾臺灣並無商業飼養，故均不計入。

表 5.1.1 臺灣 1990 至 2012 年農業部門溫室氣體排放清單

(單位：千公噸二氧化碳當)

年度	甲烷					氧化亞氮				農業部門溫室氣體排放量總計
	甲烷排放總量	4.A. 牲畜腸胃發酵	4.B. 畜牧糞尿處理	4.C. 水稻種植	4.F. 作物殘體燃燒	氧化亞氮排放總量	4B. 畜牧糞尿處理	4D. 農耕土壤	4F. 作物殘體燃燒	
1990	1,566.74	575.96	172.84	806.02	11.92	3,167.36	50.00	3113.29	4.07	4,734.10
1991	1,601.26	627.56	198.54	763.09	12.07	3,216.13	52.01	3160.00	4.12	4,817.39
1992	1,550.04	633.44	196.22	709.57	10.81	3,112.16	54.14	3054.33	3.69	4,662.20
1993	1,572.75	666.04	201.82	693.23	11.66	3,155.63	55.80	3095.85	3.98	4,728.38
1994	1,546.62	677.20	207.47	651.19	10.76	3,148.29	61.51	3083.11	3.67	4,694.91
1995	1,578.33	706.48	217.20	643.83	10.82	3,139.48	63.58	3072.21	3.69	4,717.81
1996	1,563.95	705.47	223.01	625.39	10.08	3,192.67	69.67	3119.56	3.44	4,756.62
1997	1,466.56	629.63	183.96	642.31	10.66	2,892.27	72.85	2815.79	3.64	4,358.83
1998	1,382.75	580.94	161.01	631.10	9.71	2,779.67	73.87	2702.49	3.31	4,162.42
1999	1,400.12	598.36	171.87	619.88	10.01	2,750.87	75.13	2672.33	3.41	4,150.99
2000	1,379.36	596.37	176.13	589.79	17.07	3,084.74	75.65	3003.27	5.82	4,464.10
2001	1,330.73	568.45	168.79	578.92	14.57	3,026.88	73.46	2948.45	4.97	4,357.61
2002	1,257.97	548.11	162.73	534.70	12.43	3,028.75	73.30	2951.21	4.24	4,286.72
2003	1,185.13	538.52	161.43	476.62	8.56	2,838.64	73.68	2762.04	2.92	4,023.77
2004	1,121.53	527.84	162.10	424.10	7.49	3,037.38	72.20	2962.63	2.55	4,158.91
2005	1,177.38	534.69	163.96	471.07	7.66	2,851.07	74.09	2774.37	2.61	4,028.45
2006	1,161.23	526.84	163.34	462.91	8.14	2,896.78	75.20	2818.81	2.77	4,058.01
2007	1,138.18	522.63	155.28	455.86	4.41	2,829.68	73.66	2754.52	1.50	3,967.86
2008	1,103.29	502.22	150.83	444.34	5.91	2,703.88	74.60	2627.27	2.01	3,807.17
2009	1,088.46	491.14	146.93	445.51	4.88	2,758.38	73.85	2682.87	1.66	3,846.84
2010	1,082.89	497.78	148.11	431.87	5.13	2,716.39	73.31	2641.33	1.75	3,799.28
2011	1,105.69	507.47	151.17	441.87	5.18	2,620.38	73.57	2545.04	1.77	3,726.07
2012	1,104.21	501.26	144.49	453.24	5.22	2,659.65	73.50	2584.37	1.78	3,763.86

備註：

- 依據 1996 IPCC 指南年修正版計算。
- 溫室氣體排放量統計基準，係依中華民國國家標準 CNS14064-1、Q1005-1 溫室氣體全球暖化趨勢值換算為二氧化碳當量，二氧化碳：甲烷：氧化亞氮 = 1：21：310。
- 2005 年以前之統計資料未包含金門縣及連江縣（因其自行統計未併入臺灣地區）。

2. 方法論議題：

(1) 計算方法

依據 1996 IPCC 指南，計算畜牧部門溫室氣體排放量之方法有二種：

A. 方法 1 (Tier 1)

係一種依據前人研究所設定的排放係數之

簡化方法。方法 1 可大致滿足大多數國家中的大多數動物類型。

B. 方法 2 (Tier 2)

係一個需要針對特定國家畜牧特性及糞尿處理資料而推估之較複雜方法，方法 2 建議用於設定之排放係數資料未能密切對應該國的畜禽和糞尿處理情況時。有鑒於牛隻性能明顯因

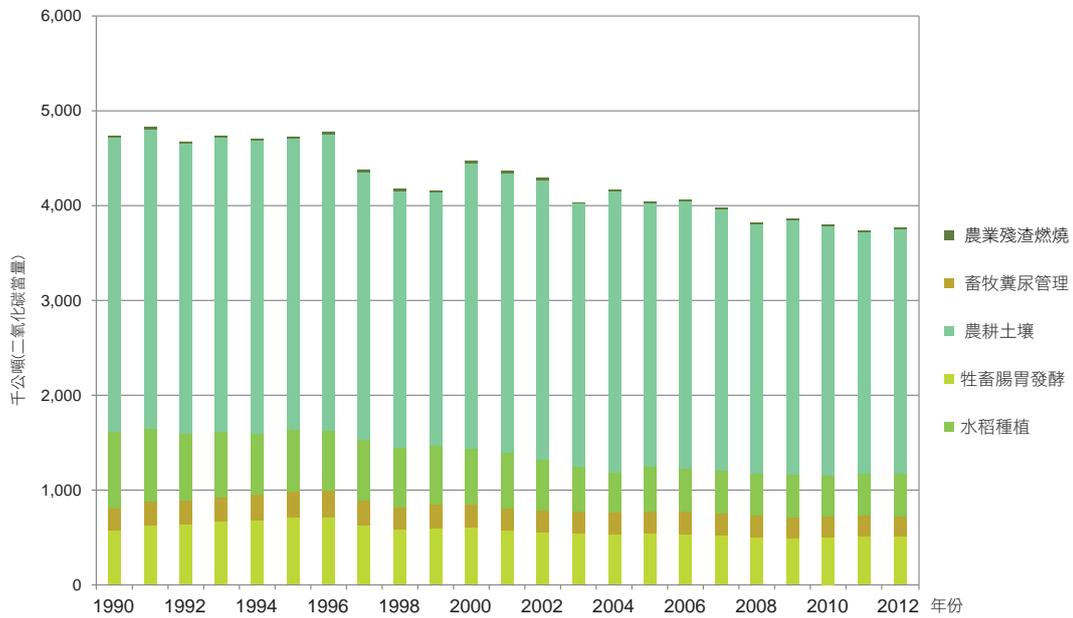


圖 5.1.1 臺灣 1990 至 2012 年農業部門溫室氣體排放趨勢

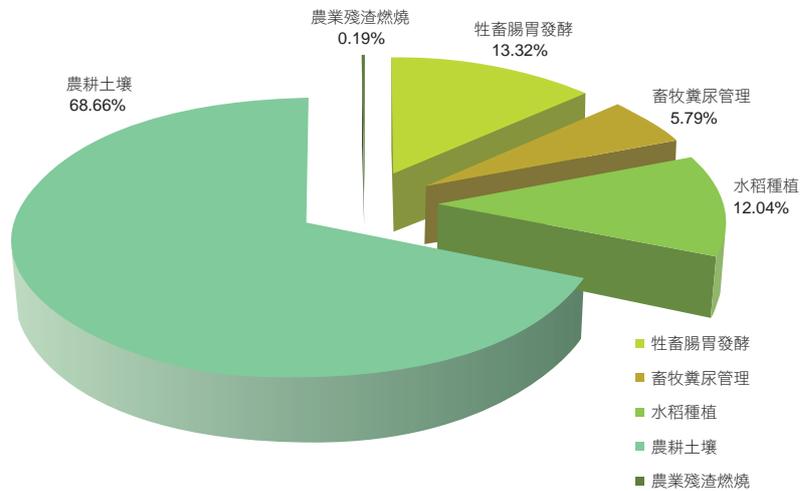


圖 5.1.2 臺灣 2012 年農業部門溫室氣體各排放源占比

國而異，建議擁有大量牛隻的國家考慮使用方法 2 估算其由腸胃發酵及糞尿處理的甲烷排放量。同樣，由於水牛和豬之糞便處理因國而異的情形更為明顯，因此建議水牛或豬飼養數量大的國家考慮採用方法 2，以估算這些動物糞尿處理的甲烷排放量。

臺灣牲畜腸胃發酵甲烷排放量的計算方法，仍採用方法 1，係個別畜種的腸胃發酵甲烷排放係數乘以該畜種年度活動數據的加總。

牲畜腸胃發酵甲烷之排放量 = $EF \times \text{各類畜禽總量} \times (Gg/10^6kg)$

其中，排放量：腸胃發酵甲烷排放量（Gg / 年）

EF：某畜種畜腸胃發酵的排放係數

使用的畜禽種類分別為：

產乳牛（[產乳牛]（含乾乳牛））、非乳

牛（[未產乳牛] + [肉用牛 - 水牛] + [役用牛 - 水牛] + [乳用牛之乳公牛]）、水牛、山羊（[肉羊] + [乳羊]）、豬（所有豬）、家禽 - 白色肉雞、家禽 - 有色肉雞、家禽 - 蛋雞（[蛋雞] + [蛋種雞] + [肉種雞]）、家禽 - 鵝及家禽 - 肉鵝。

（2）排放係數

臺灣自 1997 年起，進行一系列牲畜溫室氣體排放的研究，並於 2000 年經由相關專家召開研究結果的審查，確立乳牛、雞、鴨及鵝腸胃發酵的甲烷排放係數本土值。豬隻因係高度經濟動物，與其他國家豬隻品種與性能表現均大致相同，因此直接採用 IPCC 的預設值；山羊部分因無國內研究，亦採用 IPCC 的預設值；而馬之排放量未及總排放量之 5%，不予計入。而排放係數的單位則與活動數據的估算方式一致，生命週期大於 1 年或全年飼養量均一者，其排放係數的單位為每年每頭（隻）腸

表 5.2.1 推估農業部門畜牧溫室氣體排放量之方法

畜禽種類	建議排放清冊方法	
	腸胃發酵	糞尿處理
乳牛	方法 2 ^a	方法 2 ^a
非乳牛	方法 2 ^a	方法 2 ^a
水牛	方法 1	方法 2 ^a
綿羊	方法 1	方法 1
山羊	方法 1	方法 1
駱駝	方法 1	方法 1
馬	方法 1	方法 1
騾及驢	方法 1	方法 1
豬	方法 1	方法 2 ^a
家禽	(未估算)	方法 1

註：a 擁有大量畜禽的國家建議用方法 2。當一國之甲烷總排放量中大部分由畜禽細分類所貢獻時，就有需要採用方法 2 以擷取更多細分類資料。

表 5.2.2 臺灣牲畜腸胃發酵排放甲烷之係數表

	細分類	GHG 類別	排放係數 (EF)				
			係數	單位	來源	說明	
腸胃發酵	牛	a. 乳牛 ^a (Dairy)	134.7	kg /head/yr	本土值	IPCC 為 56	
		b. 非乳牛 ^a (Non-Dairy)	64.3			IPCC 為 44	
		水牛 ^a (Buffalo)	CH ₄	64	kg /head/yr	本土值	IPCC 為 55
		綿羊 (Sheep)	CH ₄	8	kg /head/yr	IPCC	臺灣無此項目
		山羊 (Goats)	CH ₄	5	kg /head/yr	IPCC	
		駱駝與駱馬	CH ₄	46	kg /head/yr	IPCC	臺灣無此項目
		馬	CH ₄	18	kg /head/yr	IPCC	
		騾及驢	CH ₄	10	kg /head/yr	IPCC	臺灣無此項目
		豬	CH ₄	1.5	kg /head/yr	IPCC	
		家禽	a. 白色肉雞 ^b	CH ₄	1.587 × 10 ⁻⁵	kg /bird/life cycle	本土值
b. 有色肉雞 ^c	CH ₄		8.482 × 10 ⁻⁵	kg /bird/life cycle	本土值		
c. 蛋雞 ^d	CH ₄		1.061 × 10 ⁻²	kg /head/yr	本土值		
d. 鵝 ^e	CH ₄		1.500 × 10 ⁻³	kg /bird/life cycle	本土值		
e. 肉鴨 ^f	CH ₄		2.071 × 10 ⁻³	kg /bird/life cycle	本土值		
	其他	CH ₄	None				

註^a：牛（產乳牛、非乳牛）
 由 2009 年李春芳臺灣荷蘭乳牛的甲烷排放研究，乳牛每頭排放係數為 134.7 kg / 頭。

項目	乳牛 (泌乳牛、乾乳牛)	生長牛
頭數比例, %	48	52
每頭年釋放係數, kg	134.7	64.3

(資料來源：李春芳 (2009)。個人通訊，李春芳博士農委會中部辦公室。)

註^b：白色肉雞

腸內發酵	冷季 < 15°C	溫季 15-25°C	熱季 > 25°C	Average Emission Factor
甲烷 (kg /bird/life cycle)	2.040 × 10 ⁻⁵	1.626 × 10 ⁻⁵	1.079 × 10 ⁻⁵	1.587 × 10 ⁻⁵

(資料來源：黃大駿、王淑音 (2000)。臺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; Wang, S.Y. and Huang D.J. (2005). Assessment of greenhouse gas emissions from poultry enteric fermentation. Asian-Australian Journal of Animal Science. 18(6):873-878.)

註^c：有色肉雞

腸內發酵	冷季 < 15°C	熱季 > 25°C	Average Emission Factor
甲烷 (kg /bird/life cycle)	1.2615 × 10 ⁻⁴	4.349 × 10 ⁻⁵	8.482 × 10 ⁻⁵

(資料來源：黃大駿 (2000)。臺灣地區肉雞產業溫室氣體排放之探討。中國文化大學碩士論文；Wang, S.Y. and Huang D.J. (2005). Assessment of greenhouse gas emissions from poultry enteric fermentation. Asian-Australian Journal of Animal Science. 18(6):873-878.)

註^d：蛋雞

將產蛋雞在 12 個月呼吸室試驗期間之腸內發酵釋放量換算成每隻每日釋放量，對應時間作圖，並計算線下總面積，以不換羽期之數據推估得到甲烷腸內發酵氣體每年每頭排放量為 1.061 × 10⁻² kg。

(資料來源：王淑音、馬維君、黃大駿 (2002)。臺灣地區蛋雞產業之腸內發酵溫室氣體排放估測。中國畜牧學會會誌, 31(3), 221-230。)

註^e：鵝

排放係數：1.500 × 10⁻³ kg /bird/life cycle

(資料來源：王淑音、謝憲蔚、王思涵、陳盈豪 (2003)。應用呼吸室測定鵝之腸內發酵溫室氣體排放係數。中國畜牧學會會誌, 32(1), 43-50; Wang, S.Y. and Huang D.J. (2005). Assessment of greenhouse gas emissions from poultry enteric fermentation. Asian-Australian Journal of Animal Science. 18(6):873-878.)

註^f：肉鴨

排放係數：2.071 × 10⁻³ kg /bird/life cycle

(資料來源：蔡明宏、陳筱薇、黃楷翔、林政緯、王淑音 (2003)。肉鴨腸內發酵溫室氣體排放之評估。中國畜牧學會會誌, 32(4): 151。)

胃發酵的甲烷排放量；而如家禽 - 白色肉雞、家禽 - 有色肉雞、家禽 - 鵝及家禽 - 鴨等生命週期僅數月或全年飼養量較不一致者，其排放係數單位則為每個生命週期每隻腸胃發酵的甲烷排放量。

(3) 活動數據

依據 1996 IPCC 指南，畜種活動數據一般為當年底的在養頭隻數，惟對於生命週期僅數月的畜種，如家禽 - 白色肉雞、家禽 - 有色肉

雞、家禽 - 鵝及家禽 - 鴨，則以當年度總生產隻數為其活動數據。臺灣估算牲畜腸胃發酵溫室氣體排放量中所採用的活動數據亦遵循此法，如乳牛、牛 - 非乳牛、水牛、羊、豬、家禽 - 蛋雞的活動數據即為該畜種當年底的在養量，至於家禽 - 白色肉雞、家禽 - 有色肉雞、家禽 - 鵝及家禽 - 鴨，由於臺灣畜種統計調查結果並未發布家禽之年生產隻數，爰以與年生產隻數相當的年屠宰隻數為該家禽的活動數據。

表 5.2.3 臺灣 1990 至 2012 年畜種活動數據

(單位：頭 / 千隻)

年	牛 - 乳牛 ^A	牛 - 非乳牛 ^A	水牛 ^A	山羊 ^A	豬 ^A	家禽 - 白色肉雞 ^B	家禽 - 有色肉雞 ^B	家禽 - 蛋雞 ^A	家禽 - 鵝 ^B	家禽 - 鴨 ^B
1990	46,342	86,020	21,876	206,366	8,565,250	74,415	135,664	25,875	4,777	38,269
1991	49,433	84,805	18,618	214,946	10,089,137	91,504	126,692	26,484	4,628	34,739
1992	53,295	87,955	16,623	247,093	9,754,460	104,247	136,831	27,821	5,683	38,794
1993	57,652	91,460	16,489	365,632	9,844,920	123,161	147,906	28,716	6,397	43,540
1994	58,812	90,549	14,909	400,674	10,065,552	133,495	149,933	31,970	8,521	38,904
1995	66,377	85,565	12,883	430,238	10,508,502	149,451	150,756	32,987	7,744	40,510
1996	62,846	89,055	11,213	428,175	10,698,366	159,983	164,084	36,470	7,078	39,628
1997	65,281	91,508	9,601	442,552	7,966,887	185,280	180,072	39,275	7,503	39,010
1998	66,514	90,329	8,556	402,544	6,538,596	189,535	175,215	40,386	7,955	33,603
1999	66,175	89,884	9,189	363,135	7,243,194	185,077	175,328	40,874	7,464	33,159
2000	66,140	87,793	7,767	315,045	7,494,954	191,202	173,627	41,086	6,503	32,075
2001	65,125	80,851	6,531	284,105	7,164,605	189,288	161,987	39,941	6,330	30,158
2002	64,517	79,572	5,370	249,729	6,793,941	188,667	164,406	39,976	6,178	29,065
2003	59,467	84,491	4,912	241,027	6,778,799	190,127	156,508	40,224	6,402	29,084
2004	54,615	85,216	4,962	249,362	6,818,970	207,440	145,809	39,343	6,510	30,546
2005	53,198	83,725	4,101	267,753	7,194,768	167,032	143,492	40,366	6,450	31,821
2006	52,313	82,145	3,538	272,038	7,091,822	181,848	138,954	41,048	6,723	36,039
2007	53,171	89,382	3,452	254,715	6,640,047	177,413	135,530	40,315	5,873	35,024
2008	52,628	81,461	3,599	235,062	6,443,311	178,676	122,974	40,955	5,149	29,982
2009	53,230	80,546	3,862	212,766	6,145,950	190,498	121,136	40,610	4,593	27,634
2010	55,296	80,862	3,844	204,854	6,185,952	191,993	123,849	40,269	4,700	28,546
2011	57,196	83,489	3,627	190,440	6,256,546	200,707	130,838	40,371	5,130	28,808
2012	59,145	83,218	3,177	167,103	6,004,717	186,994	118,759	40,452	4,929	27,253

資料來源：行政院農業委員會（2013）。中華民國農業統計年報。畜禽統計調查結果。

註：a^A 為年底在養頭 / 隻數，^B 為當年總生產量。

b. 2005 年以前之統計資料未含金門縣及連江縣（因其自行統計未併入臺灣地區）

(4) 排放量

臺灣牲畜腸胃發酵的甲烷排放量，為包含牛-乳牛、牛-非乳牛、水牛、山羊、豬、家禽-白色肉雞、家禽-有色肉雞、家禽-蛋雞、家禽-鵝及家禽-鴨等十種主要畜種，先分別計算其腸胃發酵甲烷排放係數乘以該畜種年度活動數據得到該畜種當年度的腸胃發酵甲烷排放量，再予以加總所得。

(5) 完整性

清冊已將臺灣目前主要且穩定飼養之畜種均涵括在內。

3. 不確定性與時間序列的一致性

有關 4.A. 牲畜腸胃發酵甲烷排放清冊之估算，其中活動數據係引用行政院農業委員會逐年辦理普查之農業統計年報，不確定性為 5%。

4. 特定排放源的品質保證 (Quality Assurance, QA) 及品質控制 (Quality Control, QC) 及查證

活動數據主要來自行政院農業委員會之農業統計調查資料，該會依據統計法、統計法施行細則及其他有關法令之規定特別訂頒「農情調查工作評鑑要點」，建立完善之農情調查制度，提升農牧業生產統計調查資料之正確性與

表 5.2.4 臺灣 1990 年至 2012 年牲畜腸胃發酵之甲烷排放量

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年	牛 - 乳牛	牛 - 非乳牛	水牛	山羊	豬	家禽 - 白色肉雞	家禽 - 有色肉雞	家禽 - 蛋雞	家禽 - 鵝	家禽 - 鴨	合計
1990	131.09	116.15	29.40	21.67	269.81	0.02	0.24	5.77	0.15	1.66	575.96
1991	139.83	114.51	25.02	22.57	317.81	0.03	0.23	5.90	0.15	1.51	627.56
1992	150.76	118.77	22.34	25.97	307.27	0.03	0.24	6.20	0.18	1.69	633.44
1993	163.08	123.50	22.16	38.39	310.11	0.04	0.26	6.40	0.20	1.89	666.04
1994	166.36	122.27	20.04	42.07	317.06	0.04	0.27	7.12	0.27	1.69	677.20
1995	187.76	115.54	17.31	45.17	331.02	0.05	0.27	7.35	0.24	1.76	706.48
1996	177.77	120.25	15.07	44.96	337.00	0.05	0.29	8.13	0.22	1.72	705.47
1997	184.67	123.56	12.90	46.47	250.96	0.06	0.32	8.75	0.24	1.70	629.63
1998	188.15	121.97	11.50	42.27	205.97	0.06	0.31	9.00	0.25	1.46	580.94
1999	187.19	121.37	12.35	38.13	228.16	0.06	0.31	9.11	0.24	1.44	598.36
2000	187.09	118.55	10.44	33.08	236.09	0.06	0.31	9.15	0.20	1.39	596.37
2001	184.22	109.17	8.78	29.83	225.69	0.06	0.29	8.90	0.20	1.31	568.45
2002	182.50	107.45	7.22	26.22	214.01	0.06	0.29	8.91	0.19	1.26	548.11
2003	168.21	114.09	6.60	25.31	213.53	0.06	0.28	8.96	0.20	1.26	538.52
2004	154.49	115.07	6.67	26.18	214.80	0.07	0.26	8.77	0.21	1.33	527.84
2005	150.48	113.05	5.51	28.11	226.64	0.06	0.26	8.99	0.20	1.38	534.69
2006	147.98	110.92	4.76	28.56	223.39	0.06	0.25	9.15	0.21	1.57	526.84
2007	150.40	120.69	4.64	26.75	209.16	0.06	0.24	8.98	0.18	1.52	522.63
2008	148.87	110.00	4.84	24.68	202.96	0.06	0.22	9.13	0.16	1.30	502.22
2009	150.57	108.76	5.19	22.34	193.60	0.06	0.22	9.05	0.14	1.20	491.14
2010	156.42	109.19	5.17	21.51	194.86	0.06	0.22	8.97	0.15	1.24	497.78
2011	161.79	112.74	4.87	20.00	197.36	0.07	0.23	9.00	0.16	1.25	507.47
2012	167.30	112.37	4.27	17.55	189.15	0.06	0.21	9.01	0.16	1.19	501.26

時效性。在畜種統計調查方面，主要分為養豬頭數調查報告及畜禽統計調查結果兩大部分，前者每年分別於 5 月底及 11 月底辦理二次例行性生產調查，豬隻除外之畜種則每季辦理一次動態調查，以掌握各畜種之最新生產資料。排放係數優先採用臺灣學者專家發表之論文，若無則採用 1996 IPCC 指南之預設值，計算結果經過 2013 年 11 月 27 日農業部門溫室氣體清冊專家會議審議。

5. 特定排放源的重新計算
無。
6. 特定排放源的改善計畫
無。

5.3 畜牧糞尿處理 (4.B)

人類飼養的家畜及家禽，除於消化過程中因腸胃發酵產生甲烷外，其排泄及排遺作用所產生的糞尿也會產生甲烷及氧化亞氮類之溫室氣體，尤其人類將畜禽飼養視為國家重要經濟生產後，飼養之畜禽均已經育種改進為快速生長或生產之品種，日常代謝量大，致使糞尿量亦大，因此其產生之甲烷及氧化亞氮量不容忽視。

5.3.1 甲烷

1. 排放源及匯分類的描述

臺灣地狹人稠，又位處亞熱帶，畜牧場（如養豬、牛場）習以大量清水清潔畜舍並為畜舍及家畜降溫、散熱，自畜舍排出之糞尿通常已混入大量沖洗水，因此環保法規對畜牧場之管理係以處理廢水為導向，要求畜牧場處理

至符合放流水後再放流出場外。反觀美加紐澳或歐盟等畜牧大國將動物糞尿視為再生資源，又因多處溫帶地區或採放牧，鮮少用水，故糞尿得以儲存或堆置方式暫處理，待種植作物時，再施用於農地充當液肥。所以臺灣與其他國家在畜牧糞尿處理上，雖然過程中皆會產出溫室氣體甲烷及氧化亞氮，但其產生量及排放方式截然不同。

目前臺灣飼養豬 200 頭以上、牛 50 頭以上之畜牧場均設置廢水處理設施，處理方式雖多元，仍以三段式廢水處理系統（固液分離→厭氣發酵→好氣處理）為主。因此在畜禽糞尿處理上，豬、牛糞尿之本土係數是以三段式廢水處理之各處理階段實測值彙總所得。另山羊部分，由於臺灣飼養量較少，相關研究亦少，則使用 1996 IPCC 指南設定之排放係數。

家禽之糞尿處理部分，多經不同程度之堆肥後施用於田間，研究顯示此等管理方式較其他畜牧大國逕自堆放田野、僅乾燥或粗放之堆肥管理，在溫室氣體排放上減量許多；另臺灣自 1989 年投入研究以來，研究人員在禽糞堆肥處理方面，發表多篇家禽-白色肉雞、家禽-有色肉雞及家禽-蛋雞之報告，並經行政院農業委員會召開專家諮詢會議決議通過，因此臺灣仍以國內研究人員研究畜牧堆肥處理實測所得之本土係數估算。

2. 方法論議題

(1) 計算方法

依據 1996 IPCC 指南，臺灣畜牧糞尿處理過程中甲烷排放量的計算方法，係個別畜種的

糞尿處理甲烷排放係數乘以該畜種年度活動數據的加總。

$$\text{畜牧糞尿管理之甲烷排放量} = EF \times \text{各類畜禽總量} \times (Gg/10^6kg)$$

其中，甲烷排放：某種牲畜糞尿管理系

中的甲烷排放量 (Gg/year)

EF：某畜種糞尿管理的排放係數

使用的畜牧種類分別為：

產乳牛 ([產乳牛] (含乾乳牛))、非乳牛 ([未產乳牛] + [肉用牛-水牛] + [役用牛-

表 5.3.1 臺灣農業部門畜牧糞尿處理排放甲烷之係數表

GHG 類別	細分類	排放係數 (EF)			
		係數	單位	來源	說明
CH ₄	a. 乳牛 ^a (Dairy)	4.898	kg /head/yr	本土值	IPCC 為 56
	b. 非乳牛 (Non-Dairy)	1		2	
CH ₄	水牛 (Buffalo)	0.28	kg /head/yr	IPCC	
CH ₄	綿羊 (Sheep)	0.18	kg /head/yr	IPCC	臺灣無此項目
CH ₄	山羊 (Goats)	2.38	kg /head/yr	IPCC	
CH ₄	駱駝與駱馬	2.08	kg /head/yr	IPCC	臺灣無此項目
CH ₄	馬	1.14	kg /head/yr	IPCC	
CH ₄	驢及驢	0.768	kg /head/yr	IPCC	臺灣無此項目
CH ₄	豬	1.5	kg /head/yr	IPCC	IPCC 為 5
CH ₄	a. 白色肉雞 ^b	0.00476	kg /bird/life cycle	本土值	IPCC 為 0.117
	b. 有色肉雞 ^c	0.00476	kg /bird/life cycle	本土值	
	c. 蛋雞 ^c	0.00999	kg /head/yr	本土值	

註^a 產乳牛、豬

糞尿處理	(月均溫) < 20°C	(月均溫) 20-25°C	(月均溫) 26-30°C	Average Emission Factor
產乳牛 - 甲烷 (kg /bird/life cycle)	5.398	4.802	4.495	4.898
豬 - 甲烷 (kg /bird/life cycle)	1.393	0.462	0.449	0.768

(資料來源：Su, J.J., Liu, B. Y. and Chang, Y. C. (2003). Emission of greenhouse gas from livestock waste and wastewater treatment in Taiwan. Agriculture Ecosystem & Environment, 95, 253-263.)

註^b 肉雞 (白色肉雞、有色肉雞)

糞尿處理	冷季 < 20°C	溫季 15-25°C	熱季 > 25°C	Average Emission Factor
甲烷 (kg /bird/life cycle)	4.480 × 10 ⁻⁵	3.245 × 10 ⁻³	1.25 × 10 ⁻²	4.76 × 10 ⁻³

(資料來源：王淑音、黃大駿、許皓豐 (2001)。肉雞糞尿處理溫室氣體排放之推估。臺灣農業化學與食品科學, 39(6), 415-42。)

註^c 蛋雞 0.00999 kg /bird/yr

種類	甲烷	氧化亞氮
肉雞 (kg/bird/life cycle)	4.76 × 10 ⁻³	6.43 × 10 ⁻⁶
蛋雞 (kg/t excreta)	7.857	0.072
蛋雞 (kg/bird/year) 加粗糠	0.4015	0.00368
蛋雞 (kg/bird/year) 純雞糞	0.00999	0.0055
蛋雞 (N ₂ O kg/kg N) 純雞糞		0.0054

(資料來源：王淑音、馬維君 (2002)。蛋雞糞尿處理之溫室氣體排放。華岡農科學報, 10:1-14。)

水牛] + [乳用牛之乳公牛])、水牛、山羊([肉羊] + [乳羊])、豬(所有豬)、家禽-白色肉雞、家禽-有色肉雞及家禽-蛋雞([蛋雞] + [蛋種雞] + [肉種雞])。

(2) 排放係數

臺灣自 1997 年起，進行一系列畜禽溫室氣體排放的研究，並於 2000 年經由相關專家召開研究結果的審查，確立乳牛、豬及雞糞尿管理過程中的甲烷排放係數本土值；另水牛及山羊部分因尚無國內研究，則採用 IPCC 的預設值；而馬之排放量未及總排放量之 5%，不予計入。排放係數的單位與活動數據的估算方式一致，生命週期大於一年或全年飼養量均一

者，其排放係數的單位為每年每頭(隻)糞尿處理過程中的甲烷排放量；而如家禽-白色肉雞及家禽-有色肉雞等生命週期僅數月或全年飼養量較不一致者，其排放係數單位則為每個生命週期每隻糞尿處理中的甲烷排放量。

(3) 活動數據

同表 5.2.3。

(4) 排放量

臺灣畜牧糞尿處理中甲烷排放量，為包含牛-乳牛、牛-非乳牛、水牛、山羊、豬、家禽-白色肉雞、家禽-有色肉雞及家禽-蛋雞等八種主要畜種，先分別計算其糞尿處理過程中甲

表 5.3.2 臺灣 1990 年至 2012 年畜牧糞尿處理之甲烷排放量

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年	牛-乳牛	牛-非乳牛	水牛	山羊	豬	家禽-白色肉雞	家禽-有色肉雞	家禽-蛋雞	合計
1990	4.77	1.81	0.92	0.78	138.14	7.44	13.56	5.43	172.84
1991	5.08	1.78	0.78	0.81	162.72	9.15	12.66	5.56	198.54
1992	5.48	1.85	0.70	0.93	157.32	10.42	13.68	5.84	196.22
1993	5.93	1.92	0.69	1.38	158.78	12.31	14.78	6.02	201.82
1994	6.05	1.90	0.63	1.51	162.34	13.34	14.99	6.71	207.47
1995	6.83	1.80	0.54	1.63	169.48	14.94	15.07	6.92	217.20
1996	6.46	1.87	0.47	1.62	172.54	15.99	16.40	7.65	223.01
1997	6.71	1.92	0.40	1.67	128.49	18.52	18.00	8.24	183.96
1998	6.84	1.90	0.36	1.52	105.45	18.95	17.51	8.47	161.01
1999	6.81	1.89	0.39	1.37	116.82	18.50	17.53	8.57	171.87
2000	6.80	1.84	0.33	1.19	120.88	19.11	17.36	8.62	176.13
2001	6.70	1.70	0.27	1.07	115.55	18.92	16.19	8.38	168.79
2002	6.64	1.67	0.23	0.94	109.57	18.86	16.43	8.39	162.73
2003	6.12	1.77	0.21	0.91	109.33	19.01	15.64	8.44	161.43
2004	5.62	1.79	0.21	0.94	109.98	20.74	14.58	8.25	162.10
2005	5.47	1.76	0.17	1.01	116.04	16.70	14.34	8.47	163.96
2006	5.38	1.73	0.15	1.03	114.38	18.18	13.89	8.61	163.34
2007	5.47	1.88	0.14	0.96	107.09	17.73	13.55	8.46	155.28
2008	5.41	1.71	0.15	0.89	103.92	17.86	12.29	8.59	150.83
2009	5.48	1.69	0.16	0.80	99.12	19.04	12.11	8.52	146.93
2010	5.69	1.70	0.16	0.77	99.77	19.19	12.38	8.45	148.11
2011	5.88	1.75	0.15	0.72	101.05	20.06	13.08	8.47	151.17
2012	6.08	1.75	0.13	0.63	98.84	18.69	11.87	8.49	144.49

烷排放係數乘以該畜種年度活動數據，便能得到該畜種當年度的糞尿處理甲烷排放量，再予以加總所得。

(5) 完整性

臺灣豬、牛糞尿處理多以三段式廢水處理方式管理，惟目前清冊僅計算各處理階段所排放之溫室氣體量，尚未將第一段所產出畜糞渣另行堆肥化之溫室氣體排放量計入。

3. 不確定性與時間序列的一致性

有關 4.B.「畜牧糞尿處理」甲烷及氧化亞氮排放清冊之估算，其中活動數據係依據行政院農業委員會逐年辦理普查（農業統計年報），不確定性為 5%。

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

活動數據主要來自行政院農業委員會之農業統計調查資料，該會依據統計法、統計法施行細則及其他有關法令之規定特別訂頒「農情調查工作評鑑要點」，建立完善之農情調查制度，提升農牧業生產統計調查資料之正確性與時效性。在畜禽統計調查方面，主要分為養豬頭數調查報告及畜禽統計調查結果二項，前者每年分別於 5 月底及 11 月底辦理二次例行性生產調查，豬隻除外之畜禽則每季辦理一次動態調查，以掌握各種畜禽之最新生產資料。排放係數優先採用臺灣學者專家發表之論文，若無則採用 1996 IPCC 指南之預設值，計算結果經過 2013 年 11 月 27 日農業部門溫室氣體清冊專家會議審議。

5. 特定排放源的重新計算
無。

6. 特定排放源的改善計畫

由於目前清冊僅計算各處理階段所排放之溫室氣體量，尚未將第一段所產出畜糞渣另行堆肥化之溫室氣體排放量計入，未來將朝建立此部分本土係數及資料之方向努力。

5.3.2 氧化亞氮

1. 排放源及匯分類的描述

同 5.3.1.1。

2. 方法論議題

(1) 計算方法

依據 1996 IPCC 指南，臺灣畜牧糞尿處理中氧化亞氮排放量的計算方法，係個別畜種的糞尿處理氧化亞氮排放係數乘以該畜種年度活動數據的加總。

畜牧糞尿處理之氧化亞氮排放量 = $EF \times$ 各類
畜禽總量 $\times (Gg/10^6kg)$

（資料來源：家禽類之估算方式係由文化大學動物科學系王淑音教授提供；豬和牛係由臺灣動物科技研究所蘇忠楨博士提供。）

其中，氧化亞氮排放：某種牲畜糞尿處理系統中的氧化亞氮排放量（Gg/year）

EF：某畜種糞尿處理的排放係數

使用的畜牧種類分別為：

產乳牛（[產乳牛]（含乾乳牛））、豬（所有豬）、家禽 - 白色肉雞、家禽 - 有色肉雞及家禽 - 蛋雞（[蛋雞] + [蛋種雞] + [肉種雞]）。

(2) 排放係數

臺灣自 1997 年起，進行一系列畜牧溫室氣體排放的研究，並於 2000 年經由相關專家召開研究結果的審查，確立乳牛、豬及雞糞尿處理

過程中的氧化亞氮排放係數本土值；山羊、家禽 - 鵝及家禽 - 鴨部分因無國內研究，尚未計入；而馬之排放量未及總排放量之 5%，亦不予計入。而排放係數的單位則與活動數據的估算方式一致，生命週期大於一年或全年飼養量均一者，其排放係數的單位為每年每頭（隻）糞尿處理過程中的氧化亞氮排放量；而如家禽 - 白色肉雞及家禽 - 有色肉雞生命週期僅數月且全年飼養量較不一致，其排放係數單位則為每個生命週期每隻糞尿處理中的氧化亞氮排放量。

表 5.3.3 臺灣農業部門畜牧糞尿處理排放氧化亞氮之係數表

細分類	GHG 類別	排放係數 (EF)				
		係數	單位	來源	說明	
牛	a. 乳牛 ^a (Dairy)	N ₂ O	係數	kg /head/yr	本土值	
	b. 非乳牛 (Non-Dairy)		0.011			
水牛 (Buffalo)	N ₂ O	國內無係數				
綿羊 (Sheep)	N ₂ O					臺灣無此項目
山羊 (Goats)	N ₂ O	國內無係數				
駱駝與驢	N ₂ O					臺灣無此項目
馬	N ₂ O	國內無係數				
騾	N ₂ O					臺灣無此項目
豬	N ₂ O	0.002			本土值	
家禽	a. 白色肉雞 ^b	N ₂ O	6.43 × 10 ⁻⁶	kg /bird/life cycle	本土值	
	b. 有色肉雞 ^c	N ₂ O	6.43 × 10 ⁻⁶	kg /bird/life cycle	本土值	
	c. 蛋雞 ^c	N ₂ O	0.0055	kg /head/yr	本土值	

註^a 產乳牛、豬

糞尿處理	(月均溫) < 20°C	(月均溫) 20-25°C	(月均溫) 26-30°C	Average Emission Factor
產乳牛 - 氧化亞氮 (kg /bird/life cycle)	0.008	0.010	0.016	0.011
豬 - 氧化亞氮 (kg /bird/life cycle)	0.002	0.001	0.001	0.002

(資料來源：Su, J.J., Liu, B. Y. and Chang, Y. C.(2003). Emission of greenhouse gas from livestock waste and wastewater treatment in Taiwan. Agriculture Ecosystem & Environment, 95, 253-263.)

註^b 肉雞（白色肉雞、有色肉雞）

糞尿處理	冷季 < 15°C	溫季 15-25°C	熱季 > 25°C	Average Emission Factor
氧化亞氮 (kg /bird/life cycle)	1.753 × 10 ⁻⁵	2.104 × 10 ⁻⁶	4.000 × 10 ⁻⁶	6.430 × 10 ⁻⁶

(資料來源：王淑音、黃大駿、許皓豐 (2001)。肉雞糞尿處理溫室氣體排放之推估。臺灣農業化學與食品科學，39(6)，415-422。

註^c 蛋雞 0.0055 kg /bird/yr

(3) 活動數據

同表 5.2.3。

(4) 排放量

臺灣畜牧糞尿處理過程中氧化亞氮排放量，為包含牛-乳牛、豬、家禽-白色肉雞、家禽-有色肉雞及家禽-蛋雞等五種主要畜種，先分別計算其糞尿處理過程中甲烷排放係數乘以該畜種年度活動數據，得到該畜種當年度的糞尿處理甲烷排放量，再予以加總所得。

(5) 完整性

臺灣豬、牛糞尿處理多以三段式廢水處理方式管理，惟目前清冊僅計算各處理階段所排

放之溫室氣體量，尚未將第一段所產出畜糞渣另行堆肥化之溫室氣體排放量計入。

3. 不確定性與時間序列的一致性

有關 4.B.「畜牧糞尿處理」甲烷及氧化亞氮排放清冊之估算，其中活動數據係依據行政院農業委員會逐年辦理普查之農業統計年報，不確定性為 5%。

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

同 5.2 特定排放源的 QA/QC 及查證。

5. 特定排放源的重新計算

無。

表 5.3.4 臺灣 1990 年至 2012 年畜牧糞尿處理之氧化亞氮排放量

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年	牛-乳牛	豬	家禽-白色肉雞	家禽-有色肉雞	家禽-蛋雞	合計
1990	0.16	5.31	0.15	0.27	44.12	50.00
1991	0.17	6.26	0.18	0.25	45.16	52.01
1992	0.18	6.05	0.21	0.27	47.43	54.14
1993	0.20	6.10	0.25	0.29	48.96	55.80
1994	0.20	6.24	0.27	0.30	54.51	61.51
1995	0.23	6.52	0.30	0.30	56.24	63.58
1996	0.21	6.63	0.32	0.33	62.18	69.67
1997	0.22	4.94	0.37	0.36	66.96	72.85
1998	0.23	4.05	0.38	0.35	68.86	73.87
1999	0.23	4.49	0.37	0.35	69.69	75.13
2000	0.23	4.65	0.38	0.35	70.05	75.65
2001	0.22	4.44	0.38	0.32	68.10	73.46
2002	0.22	4.21	0.38	0.33	68.16	73.30
2003	0.20	4.20	0.38	0.31	68.58	73.68
2004	0.19	4.23	0.41	0.29	67.08	72.20
2005	0.18	4.46	0.33	0.29	68.82	74.09
2006	0.18	4.40	0.36	0.28	69.99	75.20
2007	0.18	4.12	0.35	0.27	68.74	73.66
2008	0.18	3.99	0.36	0.25	69.83	74.60
2009	0.18	3.81	0.38	0.24	69.24	73.85
2010	0.19	3.84	0.38	0.25	68.66	73.31
2011	0.20	3.88	0.40	0.26	68.83	73.57
2012	0.20	3.72	0.37	0.24	68.97	73.50

6. 特定排放源的改善計畫

由於目前清冊僅計算各處理階段所排放之溫室氣體量，尚未將第一段所產出畜糞渣另行堆肥化之溫室氣體排放量計入，未來將朝建立此部分本土係數及資料之方向努力。

5.4 水稻種植 (4.C)

有機物在浸水的稻田中會因厭氧分解而產生甲烷，產生的甲烷主要經由水稻植株擴散至大氣中，陸稻因用旱田栽培，無浸水，土壤通氣較佳，無明顯的甲烷釋出。全球稻作產量栽培百分之九十為水稻，陸稻產量約佔全球稻米產量的百分之十，面積約佔百分之十五。

1. 排放源及匯分類的描述：

水稻田中的甲烷排放，主要重要影響因素包含氣候、土壤特性、水質、肥料形態與施用量、農耕操作等，尤其是灌水。灌水類型大致可區分為，連續淹灌、間歇灌溉、僅靠雨水灌溉區及深水田區（水深大於 50 cm）管理等。臺灣水稻種植方式目前主要為間歇灌溉管理，土壤乾田一次以上。陸稻面積則低於 10 公頃，故皆視為水稻計算。

由於前述氣候、土壤、水質和肥料等因子皆會隨著時間及空間而有極大差異。因此，甲烷釋出量若以一變域表示，會較一固定值表示為宜。

2. 方法論議題：

(1) 計算方法

臺灣已有多篇關於水稻田甲烷排放之研究，在考慮符合當地狀況的因素下，應以引用本土數據為佳，本項以 IPCC 2000 年良好作法指南及不確定性管理 (Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories，以下簡稱 2000 GPG) 所提出的計算公式如 1.1，計算甲烷排放。

公式 1.1

$$\text{水稻田之甲烷排放量 (Tg/yr)} = \sum_i \sum_j \sum_k (EF_{ijk} \times A_{ijk} \times 10^{12})$$

資料來源：

EF_{ijk} ：在 i, j, k 條件下的季節性綜合排放因子 ($\text{g CH}_4/\text{m}^2$)。

A_{ijk} ：在 i, j, k 條件下的年收穫面積 (m^2/y)。

i, j, k ：分 代表不同的生態系、水管理體系，和其它可以引起甲烷排放變化的條件，例如有機質的添加。

(2) 排放係數

引用 Yang et al. (2009) 水稻排放係數，以一期作 136 天，二期作 124 天將原係數單位 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ 換算成 $\text{g}/\text{m}^2/\text{crop season}$ ，惟二期作之宜蘭、苗栗、雲林、嘉義、臺南之排放係數過高，故以全臺灣平均值 ($11.5 \text{ g}/\text{m}^2$) 計算。水稻田之甲烷排放量計算方式是引用公式 1.1，排放係數如表 5.4.1。

(3) 活動數據

臺灣 1990 至 2012 年種植面積係依據行政院農業委員會農業統計年報之水稻生產記錄，依前述八個分區彙整如表 5.4.2。

(4) 排放量

將各區之排放係數分別乘上各區各期作之水稻種植面積，計算得到各區水稻田一期作及二期作之排放甲烷量值，上述總和即為水稻田全年釋放甲烷的排放總量。1990 至 2012 年水稻種植甲烷排放量如表 5.4.3 所示。

(5) 完整性

臺灣農業統計資料中雖註明包含陸稻，但與農委會統計單位確認，全國施作面積不超過 10 公頃，差異小於 0.01%，故將之全視為水稻。

排放係數方面，水田甲烷排放雖受水稻品種、土壤物化性質、管理方式等多種因素影響，而我國水稻栽培在上述因素變異多，不易逐一評估其係數計算，故將其納為排放係數不確定度範圍內。

3. 不確定性與時間序列的一致性

(1) 不確定性：

甲烷排放係數雖以本土值計算，但因調查當時並未估算不確定度，故引用 1996 IPCC 指南預設值之不確定度 75% (3/4) 計算，評估應可含納臺灣水稻種植產生之甲烷排放不確定性。而水田活動係數引自農業統計，不確定度為預設值之 5%。水稻種植產生之甲烷排放組合不確定度為：

表 5.4.1 臺灣水稻種植各期作甲烷排放係數

地區	各期作甲烷 排放係數 ^a (g/m ² /crop season)	
	一期稻	二期稻
臺北、基隆	一期稻	6.92
	二期稻	14.43
宜蘭	一期稻	2.25
	二期稻	11.57
桃園、新竹	一期稻	2.9
	二期稻	12.35
苗栗	一期稻	9.53
	二期稻	11.57
臺中、彰化、南投	一期稻	9.37
	二期稻	9.79
雲林、嘉義、臺南	一期稻	5.84
	二期稻	11.57
高雄、屏東	一期稻	2.68
	二期稻	8.75
花蓮、臺東	一期稻	6.89
	二期稻	12.53

資料來源：^aYang S. S., Lai, C.M., Chang, H.L., Chang, E. H., and Wei, C.B. (2009). Estimation of methane and nitrous oxide emissions from paddy fields in Taiwan. *Renewable Energy*, 34 1916-1922.

$$U_{rice\ CH_4} = \sqrt{75^2 + 5^2} = 75\%$$

(2) 時間序列的一致性：

在時間序列上，活動數據皆維持一致性，皆引用自行政院農業委員會農業統計年報之水田種植面積。

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

水稻種植甲烷排放之 QA/QC 著重於活動數據與排放係數檢視。活動數據主要來自行政院農業委員會之農業統計調查資料，而農委會

依據統計法、統計法施行細則及其他有關法令之規定特別訂頒「農情調查工作評鑑要點」，已建立完善之農情調查制度。排放係數引自 Yang 等 (2009) 公開發表之論文。計算方法與結果已經過二次農業部門溫室氣體清冊專家會議審議。

5. 特定排放源的重新計算

無。

6. 特定排放源的改善計畫

目前計算引用之水田甲烷排放係數為十

表 5.4.2 臺灣 1990 至 2012 年各區水稻耕作面積

(單位：公頃)

年	臺北、基隆		宜蘭		桃園、新竹		苗栗		臺中、彰化、南投		雲林、嘉義、臺南		高雄、屏東		花蓮、臺東	
	一期稻	二期稻	一期稻	二期稻	一期稻	二期稻	一期稻	二期稻	一期稻	二期稻	一期稻	二期稻	一期稻	二期稻	一期稻	二期稻
1990	3,852	1,672	14,224	5,183	34,184	31,080	13,983	13,230	66,717	62,129	77,490	66,066	18,601	19,537	13,242	13,071
1991	2,984	1,383	12,746	4,806	32,273	30,721	12,837	11,890	62,800	61,017	74,855	62,084	16,338	17,243	12,579	12,241
1992	2,422	912	12,858	3,097	31,436	29,165	11,966	11,602	61,156	58,199	62,564	58,556	14,657	14,151	12,414	11,994
1993	2,060	674	12,329	2,852	29,806	28,561	11,370	10,807	57,791	55,872	73,301	57,015	13,401	12,084	11,641	11,632
1994	1,444	587	12,402	1,815	24,986	25,898	11,114	10,516	54,978	53,199	65,420	54,483	14,074	11,346	11,898	11,676
1995	1,539	534	12,043	1,139	27,035	26,339	10,348	10,501	53,314	51,121	69,293	53,622	12,354	10,281	11,644	12,371
1996	1,102	500	11,921	1,000	22,662	25,328	10,018	9,838	51,725	49,994	60,829	54,585	11,868	10,624	12,682	13,086
1997	1,254	448	12,594	783	27,055	26,271	10,111	10,102	53,307	49,096	72,252	52,319	11,389	9,334	14,048	13,849
1998	1,114	409	12,374	536	26,434	24,605	9,783	9,702	51,995	48,335	72,383	52,371	11,385	9,196	14,099	13,919
1999	973	370	12,153	289	25,813	22,939	9,454	9,301	50,684	47,574	72,515	52,424	11,381	9,057	14,150	13,989
2000	910	354	11,942	161	24,544	20,009	9,520	7,992	48,920	45,633	73,045	48,840	11,913	7,986	14,262	13,570
2001	824	346	11,538	32	23,066	18,906	8,984	7,116	48,718	45,997	70,061	49,759	11,525	7,534	13,837	13,377
2002	738	304	10,531	27	18,609	13,940	7,615	6,873	47,974	43,657	67,764	45,485	10,867	5,947	13,786	12,723
2003	608	279	10,430	1	9,310	9,244	7,832	5,677	46,658	39,411	62,482	39,618	10,744	4,882	13,121	11,828
2004	574	302	9,623	3	4,625	7,674	5,754	5,022	44,800	38,558	46,958	34,296	10,158	3,713	12,822	12,133
2005	555	272	9,592	1	11,846	8,970	6,894	5,678	45,504	39,649	61,158	40,230	10,082	3,395	12,821	12,376
2006	479	234	9,587	2	9,735	7,790	6,537	5,258	44,882	38,251	61,690	41,214	9,130	2,513	13,208	12,679
2007	471	280	9,375	-	10,903	7,935	6,618	5,155	45,359	37,318	60,586	39,028	8,816	2,223	13,332	12,717
2008	451	269	9,186	-	10,328	7,514	6,099	5,085	43,244	36,634	56,998	39,313	8,710	2,093	13,316	13,051
2009	463	260	9,124	-	11,258	7,920	6,204	4,909	42,714	36,477	58,931	38,757	9,245	1,704	13,400	13,224
2010	438	264	9,376	6	11,370	8,087	4,985	4,621	42,702	37,142	47,371	37,998	9,430	1,837	14,269	13,967
2011	418	254	9,446	8	11,425	7,811	5,691	4,610	42,540	35,627	59,582	36,836	9,728	1,522	14,576	14,181
2012	396	254	9,993	1	11,144	7,767	5,694	4,822	42,754	36,078	61,408	39,509	10,420	1,335	14,853	14,336

年前以密閉罩法進行調查資料 (Yang et al. 2009)，雖此方法在量測過程會破壞自然狀態，可能造成量測誤差之缺點，但由於調查廣泛且資料多而為本清冊計算引用。目前行政院農業委員會農業試驗所已進行利用開放式甲烷分析儀調查水稻種植中產生之甲烷，期望獲得更具代表性之排放係數，以進行排放係數更新。

5.5 農業土壤 (4.D)

依據 1996 IPCC 指南將農業土壤的氧化亞氮 - 氮的排放分為直接排放及間接排放，直接排放是因為進行農業活動時使土壤氮素增加，

提高土壤的硝化及反硝化率，而造成氧化亞氮排放；農業活動則包括農地施用化肥及禽畜糞肥、作物殘體的埋入或是改變土地利用管理等，這些農業活動使氮素進入土壤而造成有效氮的增加。間接排放是來自管理土壤在施用化學氮肥與有機氮肥及燃燒生物質 (biomass) 時產生的氨 (NH₃) 和氮氧化物 (NO_x)，經揮發後，這些氣體以及其產物銨離子 (NH₄⁺) 和硝酸根離子 (NO₃⁻) 隨後再次沉降下來，進入土壤和水中，再以氧化亞氮排放；另一途徑為土壤中的氮素經淋洗和逕流後，再以氧化亞氮排放。

表 5.4.3 臺灣 1990 至 2012 年各區水稻田甲烷排放量

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年	臺北、基隆	宜蘭	桃園、新竹	苗栗	臺中、彰化、南投	雲林、嘉義、臺南	高雄、屏東	花蓮、臺東	總排放量
1990	10.66	19.31	101.42	60.13	259.01	255.55	46.37	53.55	806.02
1991	8.53	17.70	99.33	54.58	249.02	242.65	40.88	50.41	763.09
1992	6.28	13.60	94.78	52.14	239.99	219.00	34.25	49.52	709.57
1993	5.04	12.75	92.22	49.01	228.58	228.43	29.75	47.45	693.23
1994	3.88	10.27	82.38	47.79	217.55	212.61	28.77	47.94	651.19
1995	3.85	8.46	84.77	46.22	210.01	215.27	25.84	49.40	643.83
1996	3.12	8.06	79.49	43.95	204.56	207.23	26.20	52.78	625.39
1997	3.18	7.85	84.61	44.78	205.83	215.73	23.56	56.77	642.31
1998	2.86	7.15	79.91	43.15	201.68	216.02	23.30	57.02	631.10
1999	2.53	6.44	75.21	41.52	197.54	216.31	23.05	57.28	619.88
2000	2.40	6.03	66.84	38.47	190.08	208.25	21.38	56.34	589.79
2001	2.25	5.53	63.08	35.27	190.43	206.82	20.33	55.22	578.92
2002	2.00	5.04	47.49	31.94	184.15	193.62	17.04	53.43	534.70
2003	1.73	4.93	29.64	29.47	172.83	172.89	15.02	50.11	476.62
2004	1.75	4.55	22.72	23.72	167.43	140.92	12.54	50.48	424.10
2005	1.63	4.53	30.48	27.59	171.05	172.75	11.91	51.12	471.07
2006	1.40	4.54	26.13	25.86	166.95	175.79	9.76	52.47	462.91
2007	1.53	4.43	27.22	25.77	165.98	169.13	9.05	52.75	455.86
2008	1.47	4.34	25.78	24.56	160.41	165.42	8.75	53.61	444.34
2009	1.46	4.31	27.40	24.34	159.04	166.44	8.33	54.18	445.51
2010	1.44	4.44	27.90	21.20	160.38	150.42	8.68	57.40	431.87
2011	1.38	4.48	27.22	22.59	156.95	162.57	8.27	58.40	441.87
2012	1.34	4.72	26.93	23.11	158.30	171.30	8.32	59.21	453.24

5.5.1 農業土壤的氧化亞氮直接排放

1. 排放源及匯分類的描述：

包括農地化學肥料使用、動物排泄物、固氮作物、農作物殘體、農耕有機土壤與牧草區之動物排泄物等氧化亞氮直接排放，臺灣因土壤有機質未達有機土壤之界定範圍，且無放牧動物之牧草區之活動數據，因此農耕有機土壤及牧草區動物排泄物二項不計入（即為零）。

2. 方法論議題：

(1) 計算方法

農業土壤的氧化亞氮直接排放估算方式如公式 1.2 所示：

公式 1.2

$$N_2O_{Direct-N} = [(F_{SN} + F_{AM} + F_{BN} + F_{CR}) \times EF_1] + [F_{OS} \times EF_2] + [F_O \times EF_3]$$

$N_2O_{Direct-N}$ ： N_2O 直接排放量 (kg N_2O-N)。

F_{SN} ：每年施用到土壤的化肥氮施用量 (kg N)，依 NH_3 和 NO_x 揮發量調整。

F_{AM} ：每年施用到土壤的動物糞肥氮量 (kg N)，依 NH_3 和 NO_x 揮發量調整。

F_{BN} ：種植的固氮作物年固氮量 (kg N)。

F_{CR} ：每年還原到土壤中的作物殘體量 (kg N)。

F_{OS} ：每年耕作的有機土壤面積，設定為 0。

F_O ：牧草動物區之動物排泄物，設定為 0。

EF_1 ：氮施用產生排放之排放因子 (kg N_2O-N /kg N 輸入)。

EF_2 ：有機土耕作排放因子 (kg N_2O-N /ha-yr)。

EF_3 ：牧草動物區排放因子，如表 5.5.1。

N_2O-N 排放轉化為 N_2O 排放的計算公式如公式 1.3。

公式 1.3

$$N_2O \text{ 排放量} = N_2O-N \times 44/28$$

農業土壤中施用氮的因子和數量，其因子包括化學肥料的施用氮量、來自動物糞肥氮量、固氮作物的固氮量、固氮及非固氮作物殘體量所施用的氮量。以下為各項來源排放氮量之計算。

A. 化學肥料施氮量 (F_{SN})

即計算化學氮肥的施用量，需扣除施用氮肥後產生 NH_3+NO_x 揮發至大氣中造成的氮損失，以公式 1.4 調整。

公式 1.4

$$\text{化學氮肥施用總氮量 } F_{SN} = N_{FERT} \times (1 - \text{Frac}_{GASF})$$

N_{FERT} ：每年施用到土壤的化肥氮量 (kg N/yr)。

Frac_{GASF} ：每年施用到土壤之化肥氮量中以 NH_3 和 NO_x 形式逸失所佔之比例 (kg N/kg N)，1996 IPCC 指南建議值為 0.1

B. 畜禽糞肥 (F_{AW}) 的施氮量

即計算畜禽糞肥的施用量，根據 1996 IPCC 指南之動物廢棄物處理的方式分類共分為七項，分別為厭氧塘 (anaerobic lagoon)、日常施用 (daily spread)、液態儲藏 (liquid system)、固體儲存及風乾過程 (solid storage

and drylot)、牧場放牧 (pasture range and paddock)、燃料使用 (used fuel) 以及其他系統 (other system)。而臺灣的畜禽排泄物處理有別於 IPCC 分類，本清冊以禽畜糞肥的糞肥的平均含氮量 2% 計算總施氮量；活動數據則使用行政院主計總處綠色國民所得帳堆肥與禽畜舍墊料的總量作為畜禽糞肥施用總氮量，公式如 1.5。

公式 1.5

$$F_{AW} = (N_{ex} \times (1 - (Frac_{FUEL} + Frac_{GRAZ} + Frac_{GASM})))$$

F_{AW} ：畜禽糞肥施用總氮量。

N_{EX} ：畜禽糞肥總氮量，以禽畜糞肥含氮量為 2% 計算。

$Frac_{FUEL}$ ：用作燃料之排泄物含氮量佔畜禽糞肥總氮量之比例（不計，值為 0）。

$Frac_{GRAZ}$ ：放牧之排泄物含氮量佔畜禽糞肥總氮量之比例（不計，值為 0）。

$Frac_{GASM}$ ：畜禽糞肥中以 NH_3 和 NO_x 形式之揮發氮量佔畜禽糞肥總氮量之比例，IPCC 建議值為 0.2。

C. 固氮作物之固氮量 (N-Fixing Crops, F_{BN})

所有豆類及綠肥作物之豆科皆列為固氮之農作物，固氮之農作物氮輸入總量之計算式如公式 1.6 所示，其中固氮農作物產量之乾生質

量 ($Crop_{BF}$) 是以固氮農作物產量 (濕重)，乘上 30% 換算成其乾生質量；固氮農作物含氮比例 ($Frac_{NCRBF}$) 係採用 1996 IPCC 指南建議值 0.03 kg-N/kg of dry biomass。

公式 1.6

$$固氮作物之固氮量 (F_{BN}) = 2 \times Crop_{BF} \times Frac_{NCRBF}$$

2：將 $Crop_{BF}$ 轉化為農作殘體和總產量，即作物生質量。因 IPCC 假定作物殘體量與產量的比是 1，亦即為作物生質量為作物產量的兩倍，故乘上參數 2。

$Crop_{BF}$ ：固氮農作物產量之乾生質量，乾生質量以產量 (濕重) 的 30% 計算。

$Frac_{NCRBF}$ ：固氮農作物之含氮比例，0.03 kg N/kg of dry biomass。

D. 作物殘體 (Crop Residue, F_{CR})

農作物殘體之氮輸入總量為回歸農業土壤之農作殘體氮輸入量，1996 IPCC 指南計算公式如公式 1.7-1 所示。有關 $Frac_{NCRO}$ 、 $Frac_{NCRBF}$ 、 $Frac_{CR}$ 及 $Frac_{BURN}$ 係依據 IPCC 建議值。但因目前臺灣有統計就地翻耕掩埋之量，故在此視為作物殘體之總量 (鮮重)，活動數據引自行政院主計總處綠色國民所得帳中農業廢棄物排放帳之「就地翻耕掩埋」量，換算成乾重 (產量的 30%)，再乘上固氮作物 (0.03) 與非固氮作物 (0.015) 之平均含氮比例 0.0225，即為 F_{CR} 。如公式 1.7-1。

公式 1.7-1

$$F_{CR} = 2 \times (Crop_0 \times Frac_{NCRO} + Crop_{BF} \times Frac_{NCRBF}) \times (1 - Frac_R) \times (1 - Frac_{BURN})$$

2：將 $Crop_0$ 與 $Crop_{BF}$ 轉化為農作殘體和總產量，即作物生質量。

$Crop_0$ (kg/yr)：非固氮農作物產量之乾生質量，以乾生質量為產量的 30% 計算。

$Frac_{NCRO}$ ：非固氮作物之含氮比例 (0.015 kg N/kg of dry biomass)。

$Crop_{BF}$ (kg/yr)：固氮農作物產量之乾生質量，以乾生質量為產量的 30% 計算。

$Frac_{NCRBF}$ ：固氮作物之含氮比例 (0.03 kg N/kg of dry biomass)。

$Frac_R$ ：作物殘體中經移除之比例 (0.45 kg N/kg N)。

$Frac_{BURN}$ ：作物殘體中燃燒之比例 (0.06 kg N/kg N)。

公式 1.7-2

$$F_{CR} = Crop \times ((Frac_{NCRO} + Frac_{NCRBF}) / 2)$$

$Crop$ (kg/yr)：農作物就地翻耕掩埋量之乾生質量，以乾生質量為掩埋量之 30% 計算。

$Frac_{NCRO}$ ：非固氮作物之含氮比例 (0.015 kg N/kg of dry biomass)。

$Frac_{NCRBF}$ ：固氮作物之含氮比例 (0.030 kg N/kg of dry biomass)。

E. 農耕有機土壤直接排放：

因臺灣農地土壤有機質未超過 20%，故不列入計算。

F. 牧草區動物排泄物產生的直接排放：

臺灣此系統鮮少且無統計資料，故不列入計算。

(2) 排放係數

依據 1996 IPCC 指南及臺灣列有農業氧化亞氮排放量之相關係數及直接排放係數，如表 5.5.1、表 5.5.2 所示。

(3) 活動數據

A. 農地化學肥料使用 (Synthetic Fertilizers, F_{SN})

依據行政院農業委員會農業統計年報，化學肥料的項目包括硫酸銨、尿素、硝酸銨鈣、複合肥料 (平均含氮量 17.3%，參照行政院農業委員會農糧署) 等共計四項。如表 5.5.3。

表 5.5.1 農業氧化亞氮排放量的直接排放係數

直接排放係數 ^a	單位	備註
$EF_1=0.0125(0.0025-0.0225)$	kg N ₂ O-N/kg N nitrogen input	化學肥料使用、動物廢棄物、固氮作物及作物殘體等
$EF_2=5$	kg N/ha/yr	農耕有機土壤
$EF_3=0.02$	kg N ₂ O-N/kg	由牧草區動物排泄物產生

資料來源：a IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

表 5.5.2 農業土壤氧化亞氮排放量之相關係數

項目	係數		單位
	IPCC ^a	本土值	
化學肥料中以 NO _x + NH ₃ 形式逸失所佔之比例 (Frac _{GASF})	0.100		kg NO _x +NH ₃ /kg N
用作燃料之排泄物含氮量佔畜禽糞肥總氮量之比例 (Frac _{FUEL})		0.000	kg N/kg N
放牧之排泄物含氮量佔畜禽糞肥總氮量之比例 (Frac _{GRAZ})	0.020		kg N/kg N
畜禽糞肥中以 NH ₃ 和 NO _x 形式之揮發氮量佔畜禽糞肥總氮量之比例 (Frac _{GASM})	0.200		kg NH ₃ -N+ NO _x -N /kg N
固氮農作物含氮比例 (Frac _{NCRBF})	0.030		kg N/kg of dry biomass
非固氮農作物含氮比例 (Frac _{NCRD})	0.015		kg N/kg of dry biomass
作物殘體中經移除之比例 (Frac _R)	0.450		kg N/kg N
作物殘體中燃燒之比例 (Frac _{BURN})	0.250		kg N/kg N
氮淋洗之比例 (Frac _{LEACH})	0.300		kg N/kg N

資料來源：^aIPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

表 5.5.3 臺灣 1990 至 2012 年化學肥料施用量與施氮量

(單位：公噸)

年	硫酸銨	尿素	硝酸銨鈣	複合肥料	施用氮量
1990	367,112	193,121	16,845	483,839	253,002
1991	376,766	198,997	15,400	543,933	267,840
1992	336,214	189,649	16,351	562,900	258,495
1993	361,734	178,109	16,525	584,112	262,251
1994	343,602	183,914	15,585	601,407	263,917
1995	342,137	205,923	16,469	575,883	269,495
1996	324,612	205,577	16,425	625,980	274,313
1997	272,703	182,367	16,425	534,509	236,912
1998	257,658	173,169	15,037	540,741	230,322
1999	246,312	161,544	15,577	543,246	223,133
2000	334,657	178,367	17,197	518,813	245,521
2001	341,877	128,509	17,300	570,688	233,097
2002	323,116	127,158	17,684	565,892	227,783
2003	186,731	112,438	6,630	624,439	200,289
2004	232,652	113,914	6,836	646,088	214,398
2005	240,192	84,968	6,360	636,019	200,829
2006	218,215	81,093	8,606	677,338	202,029
2007	226,243	78,358	6,691	659,178	198,932
2008	185,123	77,478	2,591	627,140	183,529
2009	195,301	75,636	1,019	652,013	188,808
2010	180,802	73,420	523	661,124	186,221
2011	158,733	71,966	438	653,388	179,562
2012	144,802	74,931	264	679,091	182,412

含氮量(%)：硫酸銨：21%；尿素：46%；硝酸銨鈣：20%；複合肥料：17.3%

B. 動物排泄物 (Animal Wastes Applied to Soils, F_{AW})

臺灣對於畜禽排泄物之處理方式與 IPCC 分類差異頗大，在此項目不適用 IPCC 提供的公式，本清冊以行政院主計總處綠色國民所得帳之農業廢棄物排放帳的堆肥與禽畜舍墊料總量，做為活動數據。如表 5.5.4。

C. 固氮作物 (N-Fixing Crops, F_{BN})

固氮作物各項作物之產量可由農業統計年報獲得。估算之固氮作物種類包括大豆、落花

生、菜豆、紅豆、豌豆、毛豆、富貴豆、鐵皮豆、青皮豆、綠肥大豆、三葉草、田菁、太陽麻等。如表 5.5.5。

D. 農作物殘體量 (Crop Residue, F_{CR})

活動數據引自行政院主計總處綠色國民所得帳值 (2001 年後)，2001 年之前則利用耕地總面積推估 "就地翻耕掩埋" 之值。如表 5.5.6。

表 5.5.4 臺灣 1990 至 2012 年禽畜糞肥料施用量與施氮量

(單位：公噸)

年	堆肥	禽畜糞	禽畜舍墊料	總氮量 ^c
1990	1,313,766	1,760,166	-	614,786
1991	1,072,602	1,421,175	-	498,755
1992	921,678	1,332,571	-	450,850
1993	892,081	1,371,916	-	452,799
1994	661,707	1,315,837	-	395,509
1995	716,149	1,014,988	-	346,227
1996	643,926	1,030,476	-	334,880
1997	582,307	1,463,448	-	409,151
1998	484,676	1,098,550	-	316,645
1999	460,038	1,135,045	-	319,017
2000 ^a	737,897	1,181,344	-	383,848
2001 ^b	2,031,489	-	90,000	424,298
2002	2,152,062	-	85,000	447,412
2003	2,212,500	-	81,000	458,700
2004	2,205,188	-	71,680	455,374
2005	2,302,694	-	73,357	475,210
2006	2,366,029	-	77,902	488,786
2007	2,393,084	-	68,173	492,251
2008	2,465,486	-	72,858	507,669
2009	2,453,827	-	78,909	506,547
2010	2,455,770	-	72,551	505,664
2011	2,329,480	-	83,313	482,559
2012	2,449,779	-	85,011	506,958

註：^a 1990 至 2000 年為農業統計年報中堆肥 + 禽畜糞

^b 2001 至 2012 為綠色國民所得帳堆肥 + 禽畜舍墊料數據

^c 含氮量：堆肥：2%；禽畜糞 2%；禽畜舍墊料：2%。

E. 農耕有機土壤直接排放：

臺灣一般耕地土壤有機質未達標準 (>20%)，不列入計算。

(4) 排放量

臺灣 1990 至 2012 年之農業土壤直接氧化亞氮排放總量，估算結果如表 5.5.7。

(5) 完整性

農地氧化亞氮排放計算，係數目前引用 1996 IPCC 指南預設值，未來將朝向依相關研

究建立本土係數，並評估區分水旱作、土壤性質或作物種類之氧化亞氮排放係數，以提高農地氧化亞氮排放係數完整性。活動數據方面，目前未計算動植物有機質肥料，其包含進口及本土動植物渣粕肥料（不包括臺灣堆肥場產製禽畜堆肥及其它有機質肥料），統計來源為行政院農業委員會農糧署，但目前可取得公佈資料僅追溯自 2005 年，且無法以其它統計資料推估，且估計約佔總農地施氮量 0.1% 以下，故未計入。

表 5.5.5 臺灣 1990 至 2000 年固氮作物產量與總氮量

(單位：公噸)

年	大豆	落花生	菜豆	紅豆	豌豆	毛豆	三葉	富貴豆	鐵虎豆	青皮豆	綠肥大豆	田菁	太陽麻	總氮量 ^a
	公噸													公噸氮
1990	8,140	64,980	27,516	14,770	31,386	59,219	3,841	28	317	2,279	8,225	81,860	7,192	6,195
1991	8,333	83,816	27,419	10,673	24,787	68,000	3,080	-	785	2,208	5,660	218,876	4,367	9,160
1992	8,562	75,579	24,618	9,281	22,477	77,419	14,014	28	2,444	1,411	16,341	488,868	13,541	15,092
1993	12,715	76,462	25,130	8,719	16,324	79,180	24,408	12	2,406	932	9,790	513,660	20,316	15,801
1994	12,005	80,583	21,654	9,527	18,824	66,084	42,812	-	1,225	3,256	29,940	731,718	15,865	20,670
1995	8,894	92,225	23,013	9,705	18,630	74,362	49,537	264	180	4,706	3,894	570,754	12,255	17,368
1996	9,693	79,918	21,498	11,300	21,128	64,632	64,416	1,901	422	4,375	2,281	677,883	18,977	19,568
1997	4,722	84,185	28,174	10,413	15,616	82,798	89,947	2,038	863	1,530	3,111	502,542	43,579	17,390
1998	1,463	68,325	27,369	9,266	15,419	67,501	72,698	5,238	12,381	2,639	11,259	818,003	123,579	24,703
1999	352	67,157	24,287	8,241	18,665	60,882	84,303	4,654	13,404	15,655	29,643	1,160,412	94,447	31,642
2000	295	79,127	24,530	6,946	15,216	74,344	76,876	3,922	48,223	15,039	46,916	1,611,476	84,263	41,743
2001	328	56,087	25,665	4,235	11,280	75,991	75,711	2,913	28,280	36,210	111,665	1,748,322	97,926	45,492
2002	368	77,455	22,424	7,270	11,248	73,046	58,128	2,296	15,177	90,316	145,782	1,871,684	130,775	50,119
2003	341	73,462	20,576	7,389	9,094	77,333	43,174	30,817	8,965	278,020	225,514	2,023,741	331,299	62,594
2004	280	68,302	19,737	6,458	8,663	80,011	28,950	29,357	17,893	326,677	415,282	2,360,173	460,940	76,454
2005	213	53,948	15,138	4,850	7,852	60,629	30,396	43,451	7,600	306,711	289,091	1,883,807	410,288	62,279
2006	187	71,561	18,911	7,831	7,811	57,273	29,504	14,245	14,394	377,811	283,854	1,906,783	478,327	65,370
2007	147	51,885	16,423	6,056	6,295	43,343	18,749	21,433	12,811	422,589	333,601	1,539,790	519,164	59,846
2008	141	55,075	14,909	7,013	7,127	41,202	16,565	11,424	7,992	363,110	219,875	1,666,375	645,195	61,120
2009	220	56,941	15,062	8,550	6,653	49,398	5,621	10,326	10,027	377,114	207,643	1,665,099	665,696	61,567
2010	204	65,036	13,380	8,693	6,222	51,339	13,595	10,533	7,869	441,067	462,215	1,098,726	786,764	59,313
2011	105	68,231	12,299	11,498	6,732	69,231	6,722	12,775	2,908	469,349	358,365	891,881	904,967	56,301
2012	159	56,845	11,794	10,698	4,276	71,713	8,599	16,485	2,377	379,348	331,326	864,611	913,676	53,438

註：^a 作物乾重為 30%，固氮量皆以 3% 計。

3. 不確定性與時間序列的一致性

(1) 不確定性：

1996 IPCC 指南對農地氧化亞氮整體

不確定度定義為二個數量級（2 orders of magnitude），以農地直接氧化亞氮排放係數 0.0125 kg N₂O-N/kgN 為例，即其不確定度範圍為 0.00125 至 0.125 kg N₂O-N/kgN，評估其

表 5.5.6 臺灣 1990 至 2012 年作物殘體總氮量

(單位：公頃)

年	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001 ^b
就地翻耕掩埋	1,488,549	1,438,064	1,370,752	1,362,338	1,337,095	1,345,509	1,338,433	1,276,657	1,225,659	1,194,666	1,160,399	1,300,000
總氮量 ¹	10,048	9,707	9,253	9,196	9,025	9,082	9,034	8,617	8,273	8,064	7,833	8,775
年	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
就地翻耕掩埋	1,460,000	1,369,000	1,175,561	1,203,054	1,277,599	1,094,856	1,078,224	1,161,635	1,077,472	1,229,070	1,336,537	
總氮量 ^a	9,855	9,241	7,935	8,121	8,624	7,390	7,278	7,841	7,273	8,296	9,022	

註：^a 作物乾重比：30%；含氮量：2.25%^b 2001 年後為綠色國民所得帳值，其餘年則利用耕地總面積推估 " 就地翻耕掩埋 " 之值

表 5.5.7 1990 至 2012 農業土壤的氧化亞氮直接排放

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年	化肥	糞肥	固氮作物	作物殘體	合計排放量
1990	1386.54	299.49	33.95	61.18	1781.17
1991	1467.86	242.97	50.20	59.11	1820.13
1992	1416.65	219.63	82.71	56.34	1775.32
1993	1437.23	220.58	86.60	56.00	1800.40
1994	1446.36	192.67	113.28	54.96	1807.27
1995	1476.93	168.66	95.18	55.30	1796.08
1996	1503.34	163.13	107.24	55.01	1828.73
1997	1298.36	199.31	95.31	52.47	1645.45
1998	1262.24	154.25	135.38	50.38	1602.25
1999	1222.85	155.41	173.41	49.10	1600.77
2000	1345.54	186.99	228.77	47.70	1809.00
2001	1277.46	206.69	249.31	53.43	1786.90
2002	1248.33	217.95	274.67	60.01	1800.97
2003	1097.65	223.45	343.04	56.27	1720.42
2004	1174.98	221.83	419.00	48.32	1864.12
2005	1100.61	231.50	341.31	49.45	1722.87
2006	1107.19	238.11	358.25	52.51	1756.06
2007	1090.22	239.80	327.98	45.00	1702.99
2008	1005.81	247.31	334.96	44.32	1632.39
2009	1034.73	246.76	337.41	47.75	1666.65
2010	1020.56	246.33	325.06	44.29	1636.23
2011	984.06	235.07	308.55	50.52	1578.21
2012	999.68	246.96	292.86	54.94	1594.44

整體不確定度為 900%。而目前臺灣文獻調查，不同地區與田區之 N_2O 排放係數差異大，如水田係數約為 0.001 至 0.007 $kgN_2O-N/kg-N$ ，旱田約為 0.005 至 0.042 $kg N_2O-N/kg-N$ （錢等，2010），水、旱田排放係數變量各在一個級數內，而目前計算方法與可用活動數據，是將水旱田氧化亞氮排放合併項目計算，因此排放係數不確定度，會達二個變量級數，排放係數不確定度大，但與 1996 IPCC 指南預設相同，故農地氧化亞氮排放係數不確定度直接引用 1996 IPCC 指南不確定度。農地氧化亞氮排放之活動係數不確定度，引自行政院主計總處綠色國民所得帳及農業統計，不確定度預設值為 5%。組合（整體）不確定度：900%

$$U_{soil N_2O} = 900\%$$

農地氧化亞氮排放不確定性評估，係在 102 年農業部門審議會後才提出，因此尚未經正式審議，未來在累積更多的文獻後，再修正不確定度數值。

（2）時間序列的一致性：

活動數據在禽畜糞肥料用量、就地翻耕掩埋量中為不連續資料。禽畜糞肥料用量 1990 至 2000 年為行政院農業委員會農業統計年報中堆肥加禽畜糞之合計用量，2001 至 2012 年為綠色國民所得帳堆肥加禽畜舍墊料之合計用量。就地翻耕掩埋量中，2001 年後引自綠色國民所得帳值，其餘年利用 2001 至 2010 年耕地總面積線性迴歸（ $R^2 = 0.68$ ），推估“就地翻耕掩埋”值。其餘引自農業統計年報之活動數據，在時間序列上具一致性。

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

農地直接氧化亞氮排放之 QA/QC 著重於活動數據與排放係數檢視。活動數據主要來自行政院農業委員會之農業統計調查資料，而行政院農業委員會依據統計法、統計法施行細則及其他有關法令之規定特別訂頒「農情調查工作評鑑要點」，已建立完善之農情調查制度。排放係數引自 1996 IPCC 指南預設值，計算方法與結果已經過兩次農業部門溫室氣體排放專家會議審議。

5. 特定排放源的重新計算

無。

6. 特定排放源的改善計畫

目前行政院農業委員會農業試驗所正在執行依相關研究，以建立本土係數，並評估區分水旱作、土壤性質或作物種類之氧化亞氮排放係數，以提高農地氧化亞氮排放估算之完整性。

5.5.2 農業土壤的氧化亞氮間接排放

1. 排放源及匯分類的描述：

包括估算化學肥料及畜禽排泄物揮發之間接排放和化學肥料及畜禽排泄物淋洗之間接氧化亞氮排放量。

2. 方法論議題：

（1）計算方法

農業土壤的氧化亞氮間接排放估算方式如公式 1.8 所示：

公式 1.8

N_2O 間接排放量

$$= \text{化學肥料及畜禽排泄物揮發排放量} + \text{化學肥料及畜禽排泄物淋洗排放量}$$

$$= \{(\text{土壤中化肥氮素揮發量} + \text{畜禽廢棄物中氮揮發量}) \times EF_4 + \text{淋洗後 } N_2O \text{ 排放量}\} \times 44/28$$

土壤中氮肥揮發量 (kg N/kg N)：化學氮肥施用總氮量 (N_{FERT}) 化學肥料中以 NH_3 及 NO_x 形態揮發至空氣的氮比例 ($Frac_{GASF}$)。

畜禽廢棄物中氮揮發量 (kg N/yr)：畜禽排泄物輸入土壤的氮總量 (N_{EX}) × 禽畜排泄物中以 NH_3 及 NO_x 形態揮發至空氣的氮比例 ($Frac_{GASM}$)。

EF_4 ：排放係數 (kg N_2O -N/kg NH_3 -N+ NO_x -N)，如表 5.5.8。

淋洗後氧化亞氮排放量之計算方式如公式 1.9 所示：

公式 1.9

$$\text{淋洗後 } N_2O \text{ 排放量} = (N_{FERT} + N_{EX}) \times Frac_{LEACH} \times EF_5$$

N_{FERT} ：化學氮肥施用總氮量 (kg N/yr)。

N_{EX} ：畜禽糞肥施用總氮量 (kg N/yr)。

$Frac_{LEACH}$ ：氮淋洗的比率 (kg N/kg N)。

EF_5 ：排放係數 (kg N_2O -N/kg NH_3 -N+ NO_x -N)。

(2) 排放係數

有關估算農業土壤的氧化亞氮間接排放之排放係數如表 5.5.8 所示。

(3) 活動數據

數據來源與直接排放計算相同。

(4) 排放量

1990 至 2012 年之農業土壤間接氧化亞氮排放總量，估算結果如表 5.5.9。

(5) 完整性

農地間接氧化亞氮排放完整性，同農地直接氧化亞氮排放之說明。

3. 不確定性與時間序列的一致性

農地間接氧化亞氮排放不確定度與活動數據之一致性，同農地直接氧化亞氮排放。

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

農地間接氧化亞氮排放 QA/QC 及查證，同農地直接氧化亞氮排放。

表 5.5.8 農業土壤氧化亞氮間接排放之排放係數

項目 ^a	單位	備註
$EF_4=0.01(0.002-0.02)$	kg N_2O -N/ kg NH_3 -N+ NO_x -N	化學肥料及禽畜排泄物揮發至空氣中之間接排放係數
$EF_5=0.025(0.002-0.12)$	kg N/kg N	化學肥料及禽畜排泄物淋洗之間接排放係數

資料來源：^a IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

5. 特定排放源的重新計算
無。

6. 特定排放源的改善計畫

目前行政院農業委員會農業試驗所正執行地下水硝酸態氮之調查，未來可用於評估農田施用氮素後經淋洗之間接排放係數之本土資料。

5.5.3 農業土壤的氧化亞氮排放量

1990 至 2012 年之農業土壤氧化亞氮排放總量，估算結果如表 5.5.10。

5.6 草原的焚燒 (4.E)

臺灣無熱帶草原，亦無統計資料，故此處不予計算。

5.7 作物殘體燃燒 (4.F)

1. 排放源及匯分類的描述：

此部分是計算現地燃燒農作物殘體時所產生的非二氧化碳溫室氣體，包含甲烷、一氧化碳、氧化亞氮及氮氧化物。因假設燃燒農作物殘體時所產生的二氧化碳會被再生長出來植物所吸收，故不予計算，因此在本項僅計算燃燒

表 5.5.9 臺灣 1990 至 2012 年農業土壤的氧化亞氮間接排放

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年	化肥揮散	糞肥	化肥淋洗	糞肥淋洗	合計
1990	123.25	59.90	924.36	224.62	1332.12
1991	130.48	48.59	978.57	182.22	1339.87
1992	125.92	43.93	944.43	164.72	1279.00
1993	127.75	44.12	958.15	165.43	1295.45
1994	128.57	38.53	964.24	144.50	1275.84
1995	131.28	33.73	984.62	126.50	1276.13
1996	133.63	32.63	1002.22	122.35	1290.83
1997	115.41	39.86	865.57	149.49	1170.33
1998	112.20	30.85	841.50	115.69	1100.23
1999	108.70	31.08	815.23	116.55	1071.57
2000	119.60	37.40	897.03	140.24	1194.27
2001	113.55	41.34	851.64	155.02	1161.55
2002	110.96	43.59	832.22	163.47	1150.24
2003	97.57	44.69	731.77	167.59	1041.62
2004	104.44	44.37	783.32	166.37	1098.50
2005	97.83	46.30	733.74	173.62	1051.50
2006	98.42	47.62	738.13	178.58	1062.75
2007	96.91	47.96	726.81	179.85	1051.53
2008	89.40	49.46	670.54	185.48	994.88
2009	91.98	49.35	689.82	185.07	1016.22
2010	90.72	49.27	680.37	184.75	1005.10
2011	87.47	47.01	656.04	176.31	966.84
2012	88.86	49.39	666.46	185.22	989.93

產生的甲烷及氧化亞氮。臺灣的農業殘體焚燒主要是以水稻稻蒿為主，其他 IPCC 所列其他各項殘體焚燒資料（項目包括穀類、豆類、塊根植物、甘蔗等）則少有，因此本項以稻之焚燒量來計算。

2. 方法論議題：

(1) 計算方法

有關作物殘體焚燒之估算如公式 1.10 及 1.11 所示。

公式 1.10

$$\text{作物殘體焚燒量} = \text{作物年產量} \times \text{乾物百分比} \times \text{殘體率} \times \text{氧化比例} \times \text{焚燒百分比}$$

公式 1.11

$$\text{作物殘體焚燒之排放量} = \text{作物殘體焚燒量} \times \text{含量值或轉換值}$$

在行政院主計總處綠色國民所得帳的農業廢棄物排放帳已有稻蒿焚燒量統計資料，因此將算式簡化：

公式 1.10'

$$\text{作物殘體焚燒量} = \text{作物焚燒量} \times \text{氧化比例}$$

表 5.5.10 1990 至 2012 年農業土壤氧化亞氮排放總量

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年	農地氧化亞氮 (直接)	農地氧化亞 (間接)	殘體燃燒氧化亞氮	合計
1990	1781.17	1332.12	4.07	3113.29
1991	1820.13	1339.87	4.12	3160.00
1992	1775.32	1279.00	3.69	3054.33
1993	1800.40	1295.45	3.98	3095.85
1994	1807.27	1275.84	3.67	3083.11
1995	1796.08	1276.13	3.69	3072.21
1996	1828.73	1290.83	3.44	3119.56
1997	1645.45	1170.33	3.64	2815.79
1998	1602.25	1100.23	3.31	2702.49
1999	1600.77	1071.57	3.41	2672.33
2000	1809.00	1194.27	5.82	3003.27
2001	1786.90	1161.55	4.97	2948.45
2002	1800.97	1150.24	4.24	2951.21
2003	1720.42	1041.62	2.92	2762.04
2004	1864.12	1098.50	2.55	2962.63
2005	1722.87	1051.50	2.61	2774.37
2006	1756.06	1062.75	2.77	2818.81
2007	1702.99	1051.53	1.50	2754.52
2008	1632.39	994.88	2.01	2627.27
2009	1666.65	1016.22	1.66	2682.87
2010	1636.23	1005.10	1.75	2641.33
2011	1578.21	966.84	1.77	2545.04
2012	1594.44	989.93	1.78	2584.37

(2) 排放係數

表 5.7.1 為 1996 IPCC 指南提供之乾物百分比、殘體率、氧化比例的建議值，由於已有直接統計資料，故主要引用係數為「氧化之比例」。

在氧化亞氮計算是先將由作物產量經由公式 1.10 得出的作物殘體焚燒量，再根據公式 1.11 乘上作物氮碳比，再乘上排放比及元素轉換值 (5.7.2) 所得，甲烷則是將作物殘體焚燒量乘上氮排放比及元素轉換 (5.7.3) 值所得。

(3) 活動數據

作物殘體焚燒之活動數據、係數及作物殘體焚燒量，引自行政院主計總處綠色國民所得帳 (2001 年起)，如表 5.7.4 所示。2001 年前焚燒量以臺灣地區當年水稻產量 (蕎穀比例約 1:1) 乘以 2001 年後平均燃燒比例 0.1 計算。

(4) 排放量

1990 至 2012 年作物殘體焚燒產生之甲烷與氧化亞氮排放總量，估算結果如表 5.7.5。

表 5.7.1 作物殘體比例之相關係數及碳氮含量比

項目	係數 ^a
乾性比例	0.78-0.88
殘體與農作物比值	1.4
氧化之比例	0.9
焚燒比例	-
殘體碳含量比例	0.4144
氮碳比 (水稻)	0.014

a IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

表 5.7.2 作物殘體焚燒之甲烷與氧化亞氮轉換係數

作物殘體焚燒之排放量 = 作物殘體焚燒量 × 含量值或轉換值 ^a	
殘體碳含量百分比	0.4144
CH ₄ 排放比例	0.005
CH ₄ 轉換值	16/12
GWP	21
N ₂ O 排放比例	0.007
N ₂ O 轉換值	44/28
GWP	310

a IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

表 5.7.3 非二氧化碳之溫室氣體之氮排放比與元素轉換值

非 CO ₂ 之溫室氣體	排放比	元素轉換值
CH ₄	0.005	16/12
CO	0.060	28/12
N ₂ O	0.007	44/28
NO _x	0.121	46/14

(5) 完整性

臺灣的農業殘株焚燒主要是以水稻稻蒿為主，其他如豆類、玉米、甘蔗等僅能判斷鮮少有，無法確定比例，且在無統計資料下，未列入計算。

3. 不確定性與時間序列的一致性

(1) 不確定性

殘體燃燒排放溫室氣排放量，因係數皆引用 1996 IPCC 指南，並區分為氧化亞氮及甲烷，其定義殘體燃燒氧化亞氮排放之整體不確定度

為 100%，殘體燃燒甲烷排放係數不確定度為 50%。活動數據據引自行政院主計總處綠色國民所得帳，不確定度 5%。其組合（整體）不確定度分別為 100%、50%。

$$U_{\text{residual burning } N_2O} = 100\%$$

$$U_{\text{residual burning } CH_4} = \sqrt{50^2 + 5^2} = 50\%$$

(2) 時間序列的一致性

殘體燃燒排放溫室氣體排放量之活動數據為不連續，2001 至 2012 年為行政院主計總處綠色國民所得帳，2001 年前焚燒量以臺灣當年

表 5.7.4 作物殘體焚燒量

(單位：公噸)

年	稻蒿焚燒量	殘體焚燒量 ^b
1990	228,367	205,530
1991	231,164	208,047
1992	206,988	186,289
1993	223,293	200,964
1994	206,140	185,526
1995	207,197	186,477
1996	193,090	173,781
1997	204,184	183,766
1998	185,916	167,324
1999	191,630	172,467
2000	327,000	294,300
2001 ^a	279,000	251,100
2002	238,000	214,200
2003	164,000	147,600
2004	143,362	129,026
2005	146,714	132,043
2006	155,805	140,225
2007	84,474	76,027
2008	113,123	101,811
2009	93,418	84,076
2010	98,214	88,393
2011	99,188	89,269
2012	100,061	90,055

註：a 2001 年前焚燒量以臺灣地區當年水稻產量（蒿穀比例約 1:1）乘以 2001 年後平均燃燒比例 0.1 計算。

b 殘體焚燒量為乘上氧化比例 0.9。

水稻產量（蒿穀比例約 1:1）乘以 2001 至 2012 年平均之燃燒比例（燃燒量 / 稻蒿產量）：0.1，進行計算。

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

作物殘體的焚燒溫室氣體排放之 QA/QC 著重於活動數據與排放係數檢視。活動數據主要來自行政院主計總處綠色國民所得帳，同時依照臺灣統計法、統計法施行細則及其他有關法令執行。排放係數引自 1996 IPCC 指南預設值，計算方法與結果已經過兩次農業部門溫室氣體清冊專家會議審議。

5. 特定排放源的重新計算
無。

6. 特定排放源的改善計畫
無。

參考文獻

1. IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Tréanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. and Callander, B.A. (Eds). IPCC/OECD/IEA, Paris, France.

表 5.7.5 臺灣 1990 至 2012 年作物殘體焚燒產生之甲烷與氧化亞氮排放量

（單位：千公噸二氧化碳當量）

年	甲烷排放量	氧化亞氮排放量
1990	11.92	4.07
1991	12.07	4.12
1992	10.81	3.69
1993	11.66	3.98
1994	10.76	3.67
1995	10.82	3.69
1996	10.08	3.44
1997	10.66	3.64
1998	9.71	3.31
1999	10.01	3.41
2000 ^a	17.07	5.82
2001	14.57	4.97
2002	12.43	4.24
2003	8.56	2.92
2004	7.49	2.55
2005	7.66	2.61
2006	8.14	2.77
2007	4.41	1.50
2008	5.91	2.01
2009	4.88	1.66
2010	5.13	1.75
2011	5.18	1.77
2012	5.22	1.78

註：a 2001 年前焚燒量以臺灣地區當年水稻產量（蒿穀比例約 1:1）乘以 2001 年後平均燃燒比例 0.1 計算。

2. IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. In Penman, J., Kruger, D., Galbally, I., Hiraishi, T., Nyenzi, B., Enmanuel, S., Buendia, L., Hoppaus, R., Martinsen, T., Meijer, J., Miwa, K. and Tanabe, K. (Eds). IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
3. Su, J.J., Liu, B. Y. and Chang, Y. C.(2003). Emission of greenhouse gas from livestock waste and wastewater treatment in Taiwan. *Agriculture Ecosystem & Environment*, 95, 253-263.
4. Yang, S. S., Lai, C.M., Chang, H.L., Chang, E. H., and Wei, C.B.(2009). Estimation of methane and nitrous oxide emissions from paddy fields in Taiwan. *Renewable Energy*, 34 1916-1922.
5. 王淑音、黃大駿、許皓豐 (2001)。肉雞糞尿處理溫室氣體排放之推估。臺灣農業化學與食品科學，39(6)，415-422。
6. 王淑音、馬維君、黃大駿 (2002)。臺灣地區蛋雞產業之腸內發酵溫室氣體排放估測。中國畜牧學會會誌，31(3)，221-230。
7. 王淑音、馬維君 (2002)。蛋雞糞尿處理之溫室氣體排放。華岡農科學報，10:1-14。
8. 王淑音、謝憲蔚、王思涵、陳盈豪 (2003)。應用呼吸室測定鵝之腸內發酵溫室氣體排放之評估。中國畜牧學會會誌，32(4)：151。
9. Wang, S.Y. and Huang D.J. (2005). Assessment of greenhouse gas emissions from poultry enteric fermentation. *Asian-Australian Journal of Animal Science*. 18(6):873-878.
10. 行政院農業委員會 (2013)。中華民國農業統計年報。臺北市：行政院農業委員會。
11. 行政院農業委員會 (2013)。畜禽統計調查結果。臺北市：行政院農業委員會。
12. 行政院主計總處 (2013)。綠色國民所得帳編製報告。臺北市：行政院主計總處。
13. 李春芳 (2009)。個人通訊，李春芳博士農委會中部辦公室。
14. 黃大駿、王淑音 (2000)。臺灣地區白色肉雞產業之溫室氣排放。中國畜牧學會會誌，29(1)，65-75。
15. 黃大駿 (2000)。臺灣地區肉雞產業溫室氣體排放之探討。中國文化大學碩士論文。臺北市：中國文化大學，未出版。
16. 蔡明宏、陳筱薇、黃楷翔、林政緯、王淑音 (2003)。肉鴨腸內發酵溫室氣體排放係數。中國畜牧學會會誌，29(1)：65-75。
17. 錢元皓、賴朝明、楊盛行 (2010)。臺灣水田、旱田與濕地土壤氧化亞氮之釋放通量及其減量對策。土壤與環境，13 (1&2)，24-43。

