



第五章 農業部門 (CRF SECTOR 3)

- 5.1 部門概述
- 5.2 畜禽腸胃發酵
- 5.3 畜禽糞尿處理
- 5.4 水稻種植
- 5.5 農耕土壤
- 5.6 草原的焚燒
- 5.7 農作物殘渣燃燒
- 5.8 石灰處理
- 5.9 尿素使用
- 5.10 其他含碳肥料
- 5.11 其他

第五章 農業部門 (CRF SECTOR 3)

5.1 部門概述

有關農業部門溫室氣體排放清冊統計，係依據聯合國政府間氣候變化專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 於 2006 年出版國家溫室氣體排放清冊指南 (2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gases Inventories¹，以下簡稱 2006 IPCC 指南) 第四卷所述，農業部門溫室氣體排放共分為：3.A「畜禽腸胃發酵」(甲烷)、3.B「畜禽糞尿管理」(甲烷及氧化亞氮)、3.C「水稻種植」(甲烷)、3.D「農耕土壤」(氧化亞氮)、3.E「草原焚燒(臺灣不列入計算)」、3.F「作物殘體燃燒」(甲烷和氧化亞氮)、3.G「其他(臺灣不列入計算)」。¹ 本文計算二氧化碳當量所使用之甲烷與氧化亞氮之全球暖化潛勢 (Global Warming Potential, 以下簡稱 GWP) 分別為 25 與 298 (AR4, 2007)。

其中「畜禽腸胃發酵」及「畜禽糞尿處理」之計算，係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。

另於農糧部分，依據 2006 IPCC 指南「第四卷農業、林業與其他土地利用」之「第 5 章農地」、「第 11 章管理土壤中的氧化亞氮排放與

石灰 / 尿素使用過程中二氧化碳排放」等兩章節進行計算。因此農糧部分之溫室氣體排放源共分為：1. 農地，包含農地土壤生質碳，生質焚燒，水田甲烷等；2. 管理土壤中的氧化亞氮排放與石灰 / 尿素使用過程中二氧化碳排放，包含氮施用產生的氧化亞氮排放，施用石灰、尿素的二氧化碳排放等。

臺灣 1990 至 2013 年農業部門溫室氣體排放量及其趨勢如表 5.1.1 及圖 5.1.1 所示，自 1990 年起呈現逐年下降趨勢，主要因我國加入世界貿易組織 (World Trade Organization, WTO) 及經貿自由化、衝擊國內農業生產造成耕地面積及畜禽養殖減少等因素，另三段式家畜糞尿處理、合理化施肥推廣落實亦有助溫室氣體之減量。其中禽畜部門排放量在 1996 年後連續二年較大幅度下降，係口蹄疫大量豬隻死亡，飼養頭數銳減之故。我國 2013 年農業部門溫室氣體排放源占比如圖 5.1.2，農耕土壤 50% 為最大占比，其他如畜禽腸胃發酵占 20.4%、畜禽糞尿處理占 8.4%、水稻種植占 19.5%、尿素施用占 1.6%、作物殘體燃燒占 0.2%。

5.2 畜禽腸胃發酵 (3.A)

畜禽腸胃發酵是指人類飼養的家畜及家禽，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 IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management, 2006.

表 5.1.1 臺灣 1990 至 2013 年農業部門溫室氣體排放量

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年	CO ₂		CH ₄					N ₂ O				總計
	3.G 石灰處理	3.H 尿素施用	CH ₄ 總計	3.A 畜禽 腸胃發酵	3.B 畜禽 糞尿管 理	3.C 水稻種 植	3.F 作物 殘體燃 燒	N ₂ O 總計	3.B 畜禽 糞尿管 理	3.D 農耕土 壤	3.F 作物 殘體燃 燒	
1990	NE	141.6	1,873.09	669.62	205.87	960	37.6	1,879.67	48.07	1,820	11.6	3,894.36
1991	NE	145.9	1,900.31	731.04	236.47	908	24.8	1,907.70	50.00	1,850	7.7	3,953.91
1992	NE	139.1	1,863.87	737.56	233.71	845	47.6	1,857.75	52.05	1,791	14.7	3,860.72
1993	NE	130.6	1,862.51	775.36	240.45	825	21.7	1,881.34	53.64	1,821	6.7	3,874.45
1994	NE	134.9	1,831.81	788.72	247.19	775	20.9	1,880.63	59.13	1,815	6.5	3,847.34
1995	NE	151	1,854.41	822.22	258.79	766	7.4	1,873.42	61.12	1,810	2.3	3,878.83
1996	NE	150.8	1,839.84	822.24	265.70	745	6.9	1,915.08	66.98	1,846	2.1	3,905.72
1997	NE	133.7	1,723.05	731.73	219.22	765	7.1	1,723.23	70.03	1,651	2.2	3,579.99
1998	NE	127	1,622.18	673.70	191.88	751	5.6	1,623.71	71.01	1,551	1.7	3,372.89
1999	NE	118.5	1,644.07	694.38	204.79	738	6.9	1,598.32	72.22	1,524	2.1	3,360.89
2000	NE	130.8	1,617.99	692.35	209.84	702	13.8	1,813.02	72.72	1,736	4.3	3,561.81
2001	NE	94.2	1,564.80	659.62	201.08	689	15.1	1,777.32	70.62	1,702	4.7	3,436.32
2002	NE	93.2	1,479.58	635.83	193.85	637	12.9	1,792.46	70.46	1,718	4	3,365.23
2003	NE	82.5	1,393.90	625.71	192.29	567	8.9	1,671.53	70.83	1,598	2.7	3,147.93
2004	NE	83.5	1,319.95	614.15	193.10	505	7.7	1,795.80	69.40	1,724	2.4	3,199.25
2005	NE	62.3	1,387.07	622.84	195.32	561	7.9	1,672.62	71.22	1,599	2.4	3,121.99
2006	NE	59.5	1,367.83	613.84	194.59	551	8.4	1,704.89	72.29	1,630	2.6	3,132.22
2007	NE	57.5	1,341.24	608.65	184.99	543	4.6	1,666.21	70.81	1,594	1.4	3,064.94
2008	NE	56.8	1,299.21	584.44	179.67	529	6.1	1,590.62	71.72	1,517	1.9	2,946.63
2009	NE	55.5	1,281.06	571.04	175.02	530	5	1,625.59	70.99	1,553	1.6	2,962.15
2010	NE	53.8	1,274.19	578.46	176.42	514	5.3	1,608.07	70.47	1,536	1.6	2,936.06
2011	NE	52.8	1,301.05	589.59	180.06	526	5.4	1,546.43	70.73	1,474	1.7	2,900.27
2012	NE	54.9	1,300.38	582.87	172.11	540	5.4	1,571.36	70.66	1,499	1.7	2,926.64
2013	NE	45.4	1,303.73	579.18	166.25	555	3.3	1,495.30	71.30	1,423	1	2,844.43

備註：1. 依據 2006 IPCC 指南計算。

2. GWP 為二氧化碳：甲烷：氧化亞氮 = 1：25：298。

3. 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閩地區）。

4. NE：未估算。

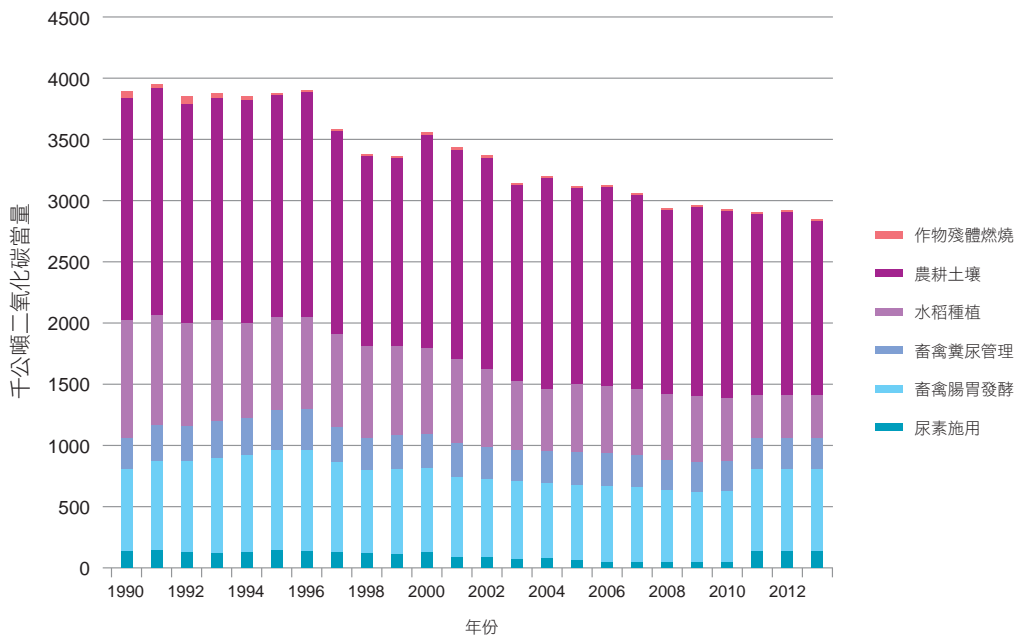


圖 5.1.1 臺灣 1990 至 2013 年農業部門溫室氣體排放量趨勢

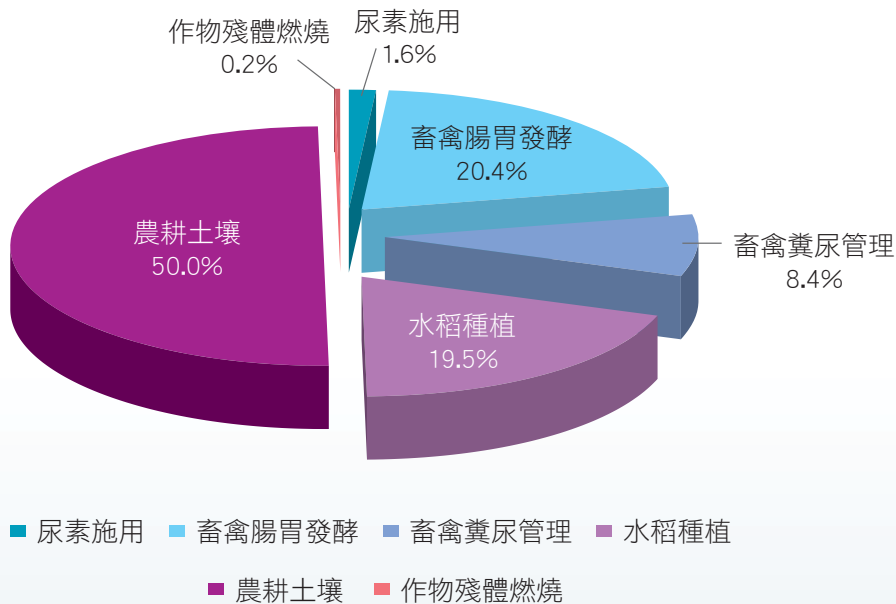


圖 5.1.2 臺灣 2013 年農業部門溫室氣體各排放源占比

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，以提供動物體所需的營養；惟微生物分解作用中同時會產生甲烷等氣體，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，惟臺灣地處亞熱帶，加以並無宗教之束縛，畜禽飼養以豬及雞為主，牛、羊等反芻動物飼養量相對少，鹿及馬飼養頭數更少，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之研究方面，家禽之研究為臺灣特色，因此 2006 IPCC 指南雖未估算家禽類，臺灣仍將自 1989 年起之研究成果計入，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；至於乳牛之研究排放係數雖大於 IPCC，但與畜牧大國使用之本土係數反較相近。因此臺灣畜禽類腸胃發酵甲烷排放量之估算方法，亦大致依據 2006 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，至於鹿及馬之排放量分別未達總排放量之 5%，而綿羊、駱駝、駱馬及騾臺灣並無商業飼養，故均不計入。

2. 方法論議題：

(1) 計算方法

依據 2006 IPCC 指南，臺灣畜禽腸胃發酵甲烷排放量的計算方法，已投入本土研究多年者，

採用方法 3，如乳牛及家禽，係本土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，至於尚無或尚未確認本土腸胃發酵甲烷排放係數者，則採用方法 1，如水牛及豬，係以 2006 IPCC 指南設定該畜種之腸胃發酵甲烷排放係數乘以該畜種年度活動數據的加總。

畜禽腸胃發酵甲烷之排放量 = EF × 各類畜禽總量 × (Gg/10⁶kg)

其中，排放量：腸胃發酵甲烷排放量 (Gg/年)

EF：某畜種畜禽腸胃發酵的排放係數

使用的畜禽種類分別為：

產乳牛 ([泌乳牛]+[乾乳牛])、非產乳牛 ([未產女牛]+[乳用牛-乳公牛]+[肉用牛-乳公牛]+[肉用牛-黃牛及雜種牛]+[役用牛-黃牛及雜種牛])、豬(所有豬)、水牛、山羊 ([肉羊]+[乳羊])、白色肉雞、有色肉雞、蛋雞 ([蛋雞]+[蛋種雞]+[肉種雞])、鵝及肉鴨。

(2) 排放係數

臺灣自 1998 年起，進行一系列畜禽溫室氣體排放的研究，並於 2001 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，至於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 2006 IPCC 指南的預設值；另山羊部分因無國內研究資料，亦採用 IPCC 的設定值；而鹿及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）腸胃發酵的甲烷排放量；至如白色肉雞、有色肉雞、

鵝²及鴨³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。

表 5.2.1 臺灣畜禽腸胃發酵排放甲烷之係數表

	細分類		溫室氣體類別	排放係數 (EF)				
				係數	單位	來源	說明	
腸胃發酵	牛	產乳牛 ^a (Dairy cattle)	甲烷	125.1	kg/head/yr	本土值	IPCC 為 68	
		非產乳牛 ^a (Non-Dairy cattle)		64.3			IPCC 為 47	
	豬 (Swine)		甲烷	1.5	kg/head/yr	IPCC		
	其他畜禽	水牛 (Buffalo)		甲烷	55	kg/head/yr	IPCC	
		山羊 (Goats)		甲烷	5	kg/head/yr	IPCC	
		家禽 (Poultry)	a. 白色肉雞 ^b		甲烷	1.587×10^{-5}	kg/bird/life cycle	本土值 本土值 本土值 本土值 本土值
b. 有色肉雞 ^c			甲烷	8.482×10^{-5}	kg/bird/life cycle			
c. 蛋雞 ^d			甲烷	1.061×10^{-2}	kg/head/yr			
d. 鵝 ^e			甲烷	1.50×10^{-3}	kg/bird/life cycle			
e. 肉鴨 ^f			甲烷	2.071×10^{-3}	kg/bird/life cycle			

註 a：牛（產乳牛、非產乳牛）

註 b：白色肉雞

腸內發酵	冷季 < 15°C	熱季 > 25°C	平均排放係數
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、王淑音，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)：65-75，2000。）

註 c：有色肉雞

腸內發酵	冷季 < 15°C	溫季 15-25°C	熱季 > 25°C	平均排放係數
甲烷 (kg/bird/life cycle)	2.04×10^{-5}	1.626×10^{-5}	1.079×10^{-5}	1.587×10^{-5}

（資料來源，黃大駿，台灣地區肉雞產業溫室氣體排放之探討，中國文化大學生物科技研究所碩士論文，2000。）

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为 1.061×10^{-2} kg。

（資料來源，王淑音、馬維君、黃大駿，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，32(4)：151，2003。）

註 e：鵝

排放係數： 1.50×10^{-3} kg/bird/life cycle

（資料來源，王淑音、謝憲蔚、王思涵、陳盈豪，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)：43-50，2003。）

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，肉鴨腸內發酵溫室氣體排放係數，中國畜牧學會會誌，29(1)：65-75，2003。）

2 王淑音、謝憲蔚、王思涵、陳盈豪，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)：43-50，2003。

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

由 2014 年李春芳依據近年我國酪農飼養環境及使用芻料之改變，分別測定其腸胃發酵之甲烷排放量（如表 5.2.2），檢討修正國內荷蘭乳牛的甲烷排放量，產乳牛每頭排放係數為 125.1 kg / 頭，非產乳牛則維持 64.3 kg / 頭（如表 5.2.3）。

（3）活動數據

依據 2006 IPCC 指南，畜禽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，如白色肉雞、有色肉雞、鵝及鴨，則以當年度總生產隻數為其活動數據，臺灣估算畜禽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，如產乳牛、非產乳牛、豬、水牛、山羊、蛋雞的活動數據即為該畜種當年底的在養量，至於白色肉雞、有色肉雞、鵝及鴨，由於臺

灣畜禽統計調查結果並未發布家禽之年生產隻數，故以與年生產隻數相當的年屠宰隻數為該家禽的活動數據。

（4）排放量

臺灣 1990 年至 2013 年畜禽腸胃發酵甲烷排放量，1990 年適逢國內畜牧業蓬勃發展，因此畜禽飼養量逐年攀升，畜禽腸胃發酵甲烷排放量隨之增加，到 1996 年達到高峰，畜禽腸胃發酵甲烷排放量亦是；1997 年國內養豬業發生口蹄疫，自此國內畜禽飼養量陡降，2001 年起我國為加入 WTO 提前開放國外畜禽產品進口，畜產市場國際化後，均使國內畜禽飼養量下滑迄今，其間雖有短暫市場現象略有波動，惟整體而言，仍呈現逐年遞減趨勢，因此畜禽腸胃發酵之甲烷排放量亦是自 2001 年以後逐年遞減趨勢。

表 5.2.2 國產牧草飼糧對荷蘭乳牛乾物採食量與瘤胃發酵甲烷排放量之影響

牛群	盤固草	狼尾草	青貯玉米料	平均
泌乳牛				
隻日乳量, kg	22.7	18.2	21.3	20.7
隻日採食量, kg	18.1	19.1	19.0	18.7
隻日甲烷排放量, g	440	414	375 (-12%)	411
乾乳牛				
隻日採食量, kg	6.2	6.3	9.4	7.3
隻日甲烷排放量, g	243	189 (-23%)	250	227
生長女牛				
隻日採食量, kg	4.4	3.1	4.1	3.9
隻日甲烷排放量, g	193	164	167 (-13%)	176

表 5.2.3 臺灣荷蘭乳牛瘤胃發酵甲烷排放量推估

項目	產乳牛 (泌乳牛、乾乳牛)	生長女牛
頭數比率	55%(43%, 12%)	45%
每頭年釋放係數, kg	125.1	64.2

（資料來源：李春芳，個人通訊，行政院農業委員會畜產試驗所營養組，2014 年 12 月 19 日「畜牧業溫室氣體清冊更新專家諮詢會」會議紀錄）

表 5.2.4 臺灣 1990 年至 2013 年畜禽活動數據

(單位：頭(家畜)/千隻(家禽))

年	產乳牛	非產乳牛 ¹	豬 ¹	水牛 ¹	山羊 ¹	白色肉雞 ²	有色肉雞 ²	蛋雞 ¹	鵝 ²	鴨 ²
1990	46,342	86,020	8,565,250	21,876	206,366	74,415	135,664	25,875	4,777	38,269
1991	49,433	84,805	10,089,137	18,618	214,946	91,504	126,692	26,484	4,628	34,739
1992	53,295	87,955	9,754,460	16,623	247,093	104,247	136,831	27,821	5,683	38,794
1993	57,652	91,460	9,844,920	16,489	365,632	123,161	147,906	28,716	6,397	43,540
1994	58,812	90,549	10,065,552	14,909	400,674	133,495	149,933	31,970	8,521	38,904
1995	66,377	85,565	10,508,502	12,883	430,238	149,451	150,756	32,987	7,744	40,510
1996	62,846	89,055	10,698,366	11,213	428,175	159,983	164,084	36,470	7,078	39,628
1997	65,281	91,508	7,966,887	9,601	442,552	185,280	180,072	39,275	7,503	39,010
1998	66,514	90,329	6,538,596	8,556	402,544	189,535	175,215	40,386	7,955	33,603
1999	66,175	89,884	7,243,194	9,189	363,135	185,077	175,328	40,874	7,464	33,159
2000	66,140	87,793	7,494,954	7,767	315,045	191,202	173,627	41,086	6,503	32,075
2001	65,125	80,851	7,164,605	6,531	284,105	189,288	161,987	39,941	6,330	30,158
2002	64,517	79,572	6,793,941	5,370	249,729	188,667	164,406	39,976	6,178	29,065
2003	59,467	84,491	6,778,799	4,912	241,027	190,127	156,508	40,224	6,402	29,084
2004	54,615	85,216	6,818,970	4,962	249,362	207,440	145,809	39,343	6,510	30,546
2005	53,198	83,725	7,194,768	4,101	267,753	167,032	143,492	40,366	6,450	31,821
2006	52,313	82,145	7,091,822	3,538	272,038	181,848	138,954	41,048	6,723	36,039
2007	53,171	89,382	6,640,047	3,452	254,715	177,413	135,530	40,315	5,873	35,024
2008	52,628	81,461	6,443,311	3,599	235,062	178,676	122,974	40,955	5,149	29,982
2009	53,230	80,546	6,145,950	3,862	212,766	190,498	121,136	40,610	4,593	27,634
2010	55,296	80,862	6,185,952	3,844	204,854	191,993	123,849	40,269	4,700	28,546
2011	57,196	83,489	6,256,546	3,627	190,440	200,707	130,838	40,371	5,130	28,808
2012	59,145	83,864	6,004,717	3,177	167,103	186,994	118,759	40,452	4,929	27,253
2013	60,500	84,387	5,806,237	2,511	160,850	183,586	102,974	40,937	5,160	32,460

備註：1.¹ 為年底在養頭/隻數，² 為當年總生產量。

2. 資料來源：農業統計年報及畜禽統計調查結果，行政院農業委員會。

3. 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）

臺灣畜禽腸胃發酵的甲烷排放量，為包含產乳牛、非產乳牛、豬、水牛、山羊、白色肉雞⁴、有色肉雞⁵、蛋雞、鵝及鴨等十種主要畜種，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

已將我國目前主要且穩定飼養之畜禽種類均涵括在內。

3. 不確定性與時間序列的一致性

(1) 不確定性

有關畜禽腸胃發酵甲烷排放清冊之估算，其中活動數據部分係引用行政院農業委員會（以下簡稱農委會）逐年辦理普查之資料（農業統計年報），不確定性為 5%；預設排放係數因未提供不確定性；暫無法估算。至本土研究之排放係數及排放量之不確定性，尚待研究估算中。

4 黃大駿、王淑音，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)：65-75，2000。

5 黃大駿，台灣地區肉雞產業溫室氣體排放之探討，中國文化大學生物科技研究所碩士論文，2000。

表 5.2.5 臺灣 1990 年至 2013 年畜禽腸胃發酵之甲烷排放量

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年	產乳牛	非產乳牛	豬	水牛	山羊	白色肉雞	有色肉雞	蛋雞	鵝	鴨	合計
1990	144.93	138.28	321.20	30.08	25.08	0.03	0.29	6.86	0.18	1.98	669.62
1991	154.60	136.32	378.34	25.60	26.87	0.04	0.27	7.02	0.17	1.80	731.04
1992	166.68	141.39	365.79	22.86	30.91	0.04	0.29	7.38	0.21	2.01	737.56
1993	180.31	147.02	369.18	22.67	45.70	0.05	0.31	7.62	0.24	2.25	775.36
1994	183.93	145.56	377.46	20.50	50.08	0.05	0.32	8.48	0.32	2.01	788.72
1995	207.59	137.55	394.07	17.71	53.78	0.06	0.32	8.75	0.29	2.10	822.22
1996	196.55	143.16	401.19	15.42	53.52	0.06	0.35	9.67	0.27	2.05	822.24
1997	204.18	147.10	298.76	13.20	55.32	0.07	0.38	10.42	0.28	2.02	731.73
1998	208.02	145.20	245.20	11.76	20.32	0.08	0.37	10.71	0.30	1.74	673.70
1999	206.961	144.49	271.62	12.63	45.39	0.07	0.37	10.84	0.28	1.72	694.38
2000	206.85	141.13	281.06	10.68	39.38	0.08	0.37	10.90	0.24	1.66	692.35
2001	203.68	129.97	268.67	8.98	35.51	0.08	0.34	10.59	0.24	1.56	659.62
2002	201.78	127.91	254.77	7.38	31.22	0.07	0.35	10.60	0.23	1.50	635.83
2003	185.98	135.82	254.20	6.75	30.13	0.08	0.33	10.67	0.24	1.51	625.71
2004	170.81	136.98	255.71	6.82	31.17	0.08	0.31	10.44	0.25	1.58	614.15
2005	166.38	134.59	269.80	5.64	33.47	0.07	0.30	10.71	0.24	1.65	622.84
2006	163.61	132.05	265.94	4.86	34.00	0.07	0.29	10.89	0.25	1.87	613.84
2007	166.29	143.68	249.00	4.75	31.84	0.07	0.29	10.69	0.22	1.81	608.65
2008	164.59	130.95	241.62	4.95	29.38	0.07	0.26	10.86	0.19	1.55	584.44
2009	166.48	129.48	230.47	5.31	26.60	0.08	0.26	10.77	0.17	1.43	571.04
2010	172.94	129.99	231.97	5.29	25.61	0.08	0.26	10.68	0.18	1.48	578.46
2011	178.88	134.21	234.96	4.99	23.81	0.08	0.28	10.71	0.19	1.49	589.59
2012	184.98	134.81	225.18	4.37	20.89	0.07	0.25	10.73	0.18	1.41	582.87
2013	189.21	135.65	217.73	3.45	20.11	0.07	0.22	10.86	0.19	1.68	579.18

(2) 時間序列的一致性

1990 年至 2013 年排放係數、活動數據來源及計算方法皆維持一致。

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

活動數據主要來自農委會之農業統計調查資料，係屬國家級統計數據。QA/QC 及查證流程為該會在準備農業部門畜牧部分（含 3.A 及 3.B）溫室氣體排放清冊過程中，先安排專家諮詢及同行審議機制；畜牧部分清冊初稿完成後，

再邀請專家學者所組成之審議小組，審議數據之正確性，並提供改善建議，經修正後再提送該會所成立之農業部門溫室氣體專家審議會，經審查修正定稿後，完成農業部門溫室氣體排放清冊階段之 QA/QC 及查證。再送行政院環境保護署併同其他部門之清冊，辦理後續階段之 QA/QC 及查證程序。

5. 特定排放源的重新計算

以往產乳牛及非產乳牛腸胃發酵甲烷排放係數本土值分別為 134.7 公斤 / 頭 / 年及 64.3 公斤

/頭/年，均係農委會畜產試驗所李春芳博士於 1998 年至 2001 年間參與前行政院國家科學委員會計畫團隊及農委會科技計畫團隊之研究結果，並依 1996 年 IPCC 指南修正版重新估算所得，惟鑑於近年來國內餵飼乳牛芻料之品項不同於 20 年前，在小地主大佃農政策推動下，青割玉米餵飼乳牛量大幅提高，致使腸胃發酵之甲烷排放量不同於 90 年代所提排放係數之計算基準。

農委會參考李博士近年來之實測數據（如表 5.2.2），以及近年農業統計年報資料顯示國內泌乳牛、乾乳牛及生長女牛族群數為 43%、12% 及 45% 之比例，並於 2014 年下半年密集召開畜禽溫室氣體專家諮詢會研商，業依 2014 年 12 月 19 日「畜牧業溫室氣體清冊更新專家諮詢會」決議，修正產乳牛之腸胃發酵甲烷排放係數本土值為 125.1 公斤/頭/年，非產乳牛則維持 64.3 公斤/頭/年⁶。

另查臺灣水牛飼養量極少，檢視國內研究資料並無水牛溫室氣體排放之相關研究，農委會業依 2014 年 12 月 19 日「畜牧業溫室氣體清冊更新專家諮詢會」決議，自 2015 年報告 1990 至 2013 年之清冊報告起，修正水牛腸胃發酵甲烷排放係數為 2006 IPCC 指南設定值之 55 公斤/頭/年。

6. 特定排放源的改善計畫

有關豬腸胃發酵甲烷排放之研究，以往雖因故研究中斷致一直引用 2006 IPCC 指南預設係數，惟養豬為臺灣主要畜牧經濟活動之一，仍將

加強各試驗研究單位之研究與成果之整合，以建立本土豬隻腸胃發酵甲烷排放係數。

5.3 畜禽糞尿處理 (3.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，其經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，尤以在人類將畜禽飼養視為國家重要經濟生產時，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亦不容忽視。

5.3.1 畜禽糞尿處理甲烷排放

1. 排放源及匯分類的描述

臺灣地狹人稠，又位處亞熱帶，畜牧場尤以養豬、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。所以我國與其他國家在畜牧糞尿處理上，雖然過程中亦會產出溫室氣體甲烷及氧化亞氮，惟其產生量及排放方式截然不同。

臺灣自 2000 年起，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

6 李春芳，行政院農業委員會個人通訊，2014。

方式雖多，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⁷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。另山羊及水牛部分，我國飼養量較少，相關研究亦少，則使用 2006 IPCC 指南設定之排放係數。

至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 1999 年投入研究以來，研究人員在禽糞堆肥處理方面，亦發表多篇白色肉雞、有色肉雞⁸及蛋雞之報告，並亦經農委會召開專家諮詢會議決議通過，因此我國仍以國內研究人員研究禽糞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 2006 IPCC 指南，臺灣畜禽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。

畜禽糞尿處理之甲烷 排放量 = EF × 各類畜禽總量 × (Gg/10⁶kg)

其中，甲烷 排放：某種牲畜糞尿管理系統中的甲烷排放量 (Gg/year)

EF：某畜種糞尿管理的排放係數

使用的畜禽種類分別為：

產乳牛（[泌乳牛]+[乾乳牛]）、非產乳牛（[未產女牛]+[乳用牛-乳公牛]+[肉用牛-乳公牛]+[肉用牛-黃牛及雜種牛]+[役用牛-黃牛及雜種牛]）、豬（所有豬）、水牛、山羊（[肉羊]+[乳羊]）、白色肉雞、有色肉雞及蛋雞（[蛋雞]+[蛋種雞]+[肉種雞]）。

(2) 排放係數

臺灣自 1998 年起，進行一系列畜禽溫室氣體排放的研究，並於 2001 年經由相關專家召開研究結果的審查，確立乳牛、豬、肉雞⁹及蛋雞糞尿處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 2006 IPCC 指南的預設值。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）糞尿處理過程中的甲烷排放量；至如白色肉雞及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 5.2.4。

(4) 排放量

臺灣畜禽糞尿處理中甲烷排放量，除前開隨

7 Jung-Jeng Su, Bee-Yang Liu and Yuan-Chie Chang, Emission of greenhouse gas from livestock waste and wastewater treatment in Taiwan, Agriculture Ecosystem & Environment 95, pp.253-263, 2003.

8 王淑音、黃大駿、許皓豐，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)：415-422，2001。

9 王淑音、黃大駿、許皓豐，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)：415-422，2001。

表 5.3.1 臺灣畜牧部門糞尿管理排放甲烷之係數表

糞尿處理	細分類		溫室氣體類別	排放係數 (EF)			
				係數	單位	來源	說明
糞尿處理	牛	產乳牛 ^a (Dairy cattle)	甲烷	4.898	kg/head/yr	本土值	IPCC 為 23
		非產乳牛 ^a (Non-Dairy cattle)		1			IPCC
	豬 ^a (Swine)		甲烷	0.768	kg/head/yr	本土值	IPCC 為 5
	其他畜禽	水牛 (Buffalo)	甲烷	2	kg/head/yr	IPCC	
		山羊 (Goats)	甲烷	0.2	kg/head/yr	IPCC	
家禽 (Poultry)		甲烷	0.00476	kg/bird/life cycle	本土值	IPCC 為 0.02	
	a. 白色肉雞 ^b	甲烷	0.00476	kg/bird/life cycle	本土值	IPCC 為 0.02	
	b. 有色肉雞 ^b	甲烷	0.00999	kg/head/yr	本土值	IPCC 為 0.03	
	c. 蛋雞 ^c	甲烷	0.00999	kg/head/yr	本土值	IPCC 為 0.03	

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	平均排放係數
產乳牛 - 甲烷 (kg/head/yr)	5.398	4.802	4.495	4.898
豬 - 甲烷 (kg/head/yr)	1.393	0.462	0.449	0.768

(資料來源：Jung-Jeng Su, Bee-Yang Liu and Yuan-Chie Chang, Emission of greenhouse gas from livestock waste and wastewater treatment in Taiwan, Agriculture Ecosystem & Environment 95, pp.253-263, 2003.)

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	平均排放係數
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，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)：415-422，2001。)

註 c 蛋雞 0.00999 kg/bird/yr 王淑音，2010，台灣家禽溫室氣體糞尿處理策略

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)

畜禽飼養量起伏，2001 年以後逐年遞減趨勢外，尚因我國自民國 80 年末期起環保法規開始管制養豬業，農政部門自 1991 年起全面輔導畜牧業處理廢水、糞便堆肥化，更是使畜禽糞尿處理中甲烷排放量呈現逐年遞減趨勢。

臺灣畜禽糞尿處理中甲烷排放量，為包含產乳牛、非產乳牛、豬、水牛、山羊、白色肉雞、有色肉雞及蛋雞等八種主要畜種，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，尚未將固液分離後所產出畜糞渣另行堆肥化之溫室氣體排放量計入。

有關畜禽糞尿處理甲烷排放清冊之估算，其中活動數據係依據農委會逐年辦理普查（農業統計年報），不確定性為 5%；預設排放係數因未提供不確定性；暫無法估算。至排放係數及排放量之不確定性尚待研究估算中。

3. 不確定性與時間序列的一致性

(2) 時間序列的一致性

(1) 不確定性

1990 年至 2013 年排放係數、活動數據來源及計算方法皆維持一致。

表 5.3.2 臺灣 1990 年至 2013 年畜禽糞尿管理之甲烷排放量

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年	產乳牛	非產乳牛	豬	水牛	山羊	白色肉雞	有色肉雞	蛋雞	合計
1990	5.67	2.15	164.45	1.09	1.03	8.86	16.14	6.46	205.87
1991	6.05	2.12	193.71	0.93	1.07	10.89	15.08	6.61	236.47
1992	6.53	2.20	187.29	0.83	1.24	12.41	16.28	6.95	233.71
1993	7.06	2.29	189.02	0.82	1.83	14.66	17.60	7.17	240.45
1994	7.20	2.26	193.26	0.75	2.00	15.89	17.84	7.98	247.19
1995	8.13	2.14	201.76	0.64	2.15	17.78	17.94	8.24	258.79
1996	7.70	2.23	205.41	0.56	2.14	19.04	19.53	9.11	265.70
1997	7.99	2.29	152.96	0.48	2.21	22.05	21.43	9.81	219.22
1998	8.14	2.26	125.54	0.43	2.01	22.55	20.85	10.09	191.88
1999	8.10	2.25	139.07	0.46	1.82	22.02	20.86	10.21	204.79
2000	8.10	2.19	143.90	0.39	1.58	22.75	20.66	10.26	209.84
2001	7.79	2.02	137.56	0.33	1.42	22.53	19.28	9.98	201.08
2002	7.90	1.99	130.44	0.27	1.25	22.45	19.56	9.98	193.85
2003	7.28	2.11	130.15	0.25	1.21	22.63	18.62	10.05	192.29
2004	6.69	2.13	130.92	0.25	1.25	24.69	17.35	9.83	193.10
2005	6.51	2.09	138.14	0.21	1.34	19.88	17.08	10.08	195.32
2006	6.41	2.05	136.16	0.18	1.36	21.64	16.54	10.25	194.59
2007	6.51	2.23	127.49	0.17	1.27	21.11	16.13	10.07	184.99
2008	6.44	2.04	123.71	0.18	1.18	21.26	14.63	10.23	179.67
2009	6.52	2.01	118.00	0.19	1.06	22.67	14.42	10.14	175.02
2010	6.77	2.02	118.77	0.19	1.02	22.85	14.74	10.06	176.42
2011	7.00	2.09	120.30	0.18	0.95	23.88	15.57	10.08	180.06
2012	7.24	2.10	115.29	0.16	0.84	22.25	14.13	10.10	172.11
2013	7.41	2.11	111.48	0.13	0.80	21.85	12.25	10.22	166.25

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

同 5.2.4 特定排放源的 QA/QC 及查證。

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 1 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 畜禽糞尿處理氧化亞氮

1. 排放源及匯分類的描述

大致與 3.1.1 相同。雖然臺灣在畜牧糞尿處理上與其他國家不同，因此溫室氣體之排放計算儘量以本土投入研究之產乳牛、豬及雞為主。至對山羊及水牛因我國飼養量少、且無相關研究，惟因甲烷部分 2006 IPCC 指南有相對應之係數可採用，尚能納入上一節中合併採計；但有關本節氧化亞氮部分，2006 IPCC 指南之運算係透過一連串之設定糞尿處理方式、設定糞尿中氮含量，才帶出氧化亞氮之排放係數，臺灣山羊及水牛因飼養量少缺乏之相關前置研究，致無法帶出氧化亞氮排放係數，故現階段暫不採計。

2. 方法論議題

(1) 計算方法

依據 2006 IPCC 指南，臺灣畜禽糞尿處理過程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。

畜禽糞尿處理之氧化亞氮排放量 = EF × 各類畜禽總量 × (Gg/10⁶kg)

(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；豬和牛係由台灣動物科技研究所蘇忠楨博士提供。)

其中，氧化亞氮 排放：某種牲畜糞尿管理系 中的氧化亞氮 排放量 (Gg/year)

EF：某畜種糞尿管理的排放係數

使用的畜禽種類分別為：

產乳牛 ([泌乳牛]+[乾乳牛])、豬(所有豬)、白色肉雞、有色肉雞及蛋雞 ([蛋雞]+[蛋種雞]+[肉種雞])。

(2) 排放係數

臺灣自 1998 年起，進行一系列畜禽溫室氣體排放的研究，並於 2001 年經由相關專家召開研究結果的審查，確立產乳牛、豬及雞糞尿處理過程中的氧化亞氮排放係數本土值；至山羊、鵝及鴨部分因無國內研究資料，尚未計入。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) 糞尿處理過程中的氧化亞氮排放量；至如白色肉雞及有色肉雞生命週期

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。

(3) 活動數據

同表 5.2.4。

(4) 排放量

臺灣畜禽糞尿處理中甲烷排放量，除前開隨畜禽飼養量起伏，2001 年以後逐年遞減趨勢外，尚因我國自 80 年末期起環保法規開始管制養豬業，農政部門自 1991 年起全面輔導畜牧業處理廢水、糞便堆肥化，更是使畜禽糞尿處理中甲烷排放量呈現逐年遞減趨勢。臺灣畜禽糞尿處理過

程中氧化亞氮排放量，為包含產乳牛、豬、白色肉雞、有色肉雞及蛋雞等五種主要畜種，先分別計算其糞尿處理過程中氧化亞氮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氧化亞氮排放量，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 1 段所產出畜糞渣另行堆肥化之溫室氣體排放量計入。另對我國飼養量相對較少之山羊及水牛，除非未來飼養畜種有重大轉變，否則預期仍不會有相關研究。

表 5.3.3 臺灣畜牧部門糞尿管理排放氧化亞氮之係數表

糞尿處理	細分類	溫室氣體類別	排放係數 (EF)			
			係數	單位	來源	說明
牛	產乳牛 ^a (Dairy cattle)	N ₂ O	0.011	kg /head/yr	本土值	
	豬 ^b (Swine)	N ₂ O	0.002	kg /head/yr	本土值	
	其他畜禽	家禽 (Poultry) a. 白色肉雞 ^b b. 有色肉雞 ^b c. 蛋雞 ^c	N ₂ O N ₂ O N ₂ O	6.43 × 10 ⁻⁶ 6.43 × 10 ⁻⁶ 0.0055	kg /bird/life cycle kg /bird/life cycle kg /bird/yr	本土值 本土值 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	平均排放係數
產乳牛 - 甲烷 (kg /head/yr)	0.008	0.010	0.016	0.011
豬 - 甲烷 (kg /head/yr)	0.002	0.001	0.001	0.002

(資料來源：王淑音、黃大駿、許皓豐，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)：415-422，2001。.)

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	平均排放係數
氧化亞氮 (kg /bird/life cycle)	1.753 × 10 ⁻⁵	2.104 × 10 ⁻⁶	4 × 10 ⁻⁶	6.43 × 10 ⁻⁶

(資料來源：Jung-Jeng Su, Bee-Yang Liu and Yuan-Chie Chang, Emission of greenhouse gas from livestock waste and wastewater treatment in Taiwan, Agriculture Ecosystem & Environment 95, pp.253-263, 2003.)

註 c 蛋雞 0.0055 Kg/bird/yr 王淑音，台灣家禽溫室氣體排放管理策略，2010。

(資料來源：王淑音，台灣家禽溫室氣體排放管理策略，2010。)

3. 不確定性與時間序列的一致性

(1) 不確定性

有關畜禽糞尿處理氧化亞氮排放清冊之估算，其中活動數據係依據農委會逐年辦理普查（農業統計年報），不確定性為 5%；預設排放係數因未提供不確定性；暫無法估算。至排放係數及排放量之不確定性尚待研究估算中。

(2) 時間序列的一致性

1990 年至 2013 年排放係數、活動數據來源及計算方法皆維持一致。

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

同 5.2.4 特定排放源的 QA/QC 及查證。

表 5.3.4 臺灣 1990 年至 2013 年畜禽糞尿管理之氧化亞氮排放量

（單位：千公噸二氧化碳當量）

年	產乳牛	豬	白色肉雞	有色肉雞	蛋雞	合計
1990	0.15	5.10	0.14	0.26	42.41	48.07
1991	0.16	6.01	0.18	0.24	43.41	50.00
1992	0.17	5.81	0.20	0.26	45.60	52.05
1993	0.19	5.87	0.24	0.28	47.07	53.64
1994	0.19	6.00	0.26	0.29	52.40	59.13
1995	0.22	6.26	0.29	0.29	54.07	61.12
1996	0.21	6.38	0.31	0.31	59.77	66.98
1997	0.21	4.75	0.36	0.35	64.37	70.03
1998	0.22	3.90	0.36	0.34	66.19	71.01
1999	0.22	4.32	0.35	0.34	66.99	72.22
2000	0.22	4.47	0.37	0.33	67.34	72.72
2001	0.21	4.27	0.36	0.31	65.46	70.62
2002	0.21	4.04	0.36	0.32	65.52	70.46
2003	0.19	4.04	0.36	0.30	65.93	70.83
2004	0.18	4.06	0.40	0.28	64.48	69.40
2005	0.17	4.29	0.32	0.27	66.16	71.22
2006	0.17	4.23	0.35	0.27	67.28	72.29
2007	0.17	3.96	0.34	0.26	66.08	70.81
2008	0.17	3.84	0.34	0.24	67.13	71.72
2009	0.17	3.66	0.37	0.23	66.56	70.99
2010	0.18	3.69	0.37	0.24	66.00	70.47
2011	0.19	3.73	0.38	0.25	66.17	70.73
2012	0.19	3.58	0.36	0.23	66.30	70.66
2013	0.20	3.46	0.35	0.20	67.10	71.30

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畜禽物種於處理階段所排放之溫室氣體量，尚未將後段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。另農委會持續於年度施政計畫中，研究探討畜牧場溫室氣體排放、減量¹⁰及區域性沼氣發電模式等。

5.4 水稻種植 (3.C)

有機物在浸水的稻田中會因厭氧環境，被微生物分解而產生甲烷，產生之甲烷主要經由水稻植株擴散至大氣中。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、灌溉管理、農耕操作、有機物質添加量、水稻品種、肥料形態與施用量等。陸稻因無浸水，土壤通氣較佳，無明顯的甲烷釋出，2006 IPCC 指南對於陸稻排放係數亦定為 0。

1. 排放源及匯分類的描述：

因臺灣地處亞熱帶至熱帶間，水稻可一年兩收，因此估算水稻甲烷排放時，在排放係數與活動數據皆分為兩期作進行估算。我國水稻種植方式目前主要耕作前 30 日內，開始淹水，栽種方式主要為插秧移植，灌溉採間歇灌溉管理，土壤乾燥排水一次以上，水稻稻桿多於聯合收穫機收

割後，切碎置於田間，下一期作耕作前 30 日內，以耕耘機耕犁並將殘渣耕入田間。

臺灣土壤包含 12 土綱分類中的 11 種，水稻栽培主要種植於沖積扇平原、臺地地區，土綱以弱育土、淋溶土等為主（農委會，1995）。

依據楊敏宗和蘇宗振（2008）調查，臺灣 2007 年主要 5 種水稻品種分別台南 11 號、台 14 號、台 8 號、台 16 號、台中秈 10 號；各約占總生產面積 39%、11%、8%、7%、5%。依據歷年農業統計年報，1990 至 2013 年間約 85% 生產稻米以上屬於蓬萊米（梗稻，Japonica rice）、其餘為在來米（秈稻，Indica rice）等。然根據相關研究臺灣水稻品種非甲烷排放之主因（Yang 等人 1994），因此不評估水稻品種造成之排放差異。

因臺灣各地氣候、土壤、肥料和農業操作皆有其區域特性，在甲烷排放隨上述因子變異下，甲烷排放隨臺灣各地特性而有空間變異。因此本項估算，在採用本土排放係數並參考相關文獻下，將臺灣分因地理特性區分為 8 個區域進行估算。

2. 方法論議題：

(1) 計算方法

2006 IPCC 指南之計算公式如公式 5.4.1，計算甲烷排放。然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，使用方法 3（Tier 3），引用本土排放係數進行計算，

¹⁰ 王淑音，台灣家禽溫室氣體糞尿處理策略，2010。

水稻田之甲烷排放量計算方式是將公式 5.4.1 簡化為公式 5.4.2，由活動數據 - 水稻田耕作面積乘以排放係數，排放係數如表 5.4.1。

公式 5.4.1

水稻種植中的甲烷排放

$$CH_4 \text{ 水稻} = \sum_{i,j,k} (EF_{i,j,k} \times t_{i,j,k} \times A_{i,j,k} \times 10^{-6})$$

甲烷水稻 = 稻子種植中的年度甲烷排放，Gg 甲烷 / 年
 $EF_{i,j,k}$ = 在 i, j , 和 k 條件下的日排放係數，kg 甲烷 / 公頃 / 日
 $t_{i,j,k}$ = i, j , 和 k 條件下的稻子種植期，日
 $A_{i,j,k}$ = 在 i, j , 和 k 條件下水稻的年收穫面積，公頃 / 年
 i, j , 和 k = 分別代表不同的生態系統、水分狀況和有機添加量，以及其它可以引起水稻甲烷排放變化的條件。

公式 5.4.2

水稻種植中的甲烷排放

$$CH_4 \text{ 水稻} = EF_i \times A_i$$

EF_i = 各區各期水稻排放係數
 A_i = 各區各期水稻種植面積

(2) 排放係數

排放係數引用 Yang 等人 (2003, 2009) 水稻之排放係數，因其彙整國內多筆代表性研究調查資料，作為估算農地溫室氣體排放量研究，文中將排放係數以一期作 136 天 (約 110 至 140 天)，二期作 124 天 (約 90 至 130 天) 將原係數單位 $mg/m^2/h$ 換為全期作排放量 kg/ha 。惟二期作之宜蘭、苗栗、雲林、嘉義、台南之排放係數偏高，故以其他地區平均值 (115.7 $kg/ha/season$) 計算。

(3) 活動數據

1990 至 2013 年種植面積係依據農委會編印「農業統計年報」之水稻生產記錄，依前述 8 分區，並分為兩期作，彙整如表 5.4.2。

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		
	期作	原數值 ¹¹ (mg- 甲烷 /m ² /h)	換算數值 ¹² (kg- 甲烷 /ha/season)
臺北、基隆	一期稻	2.12	69.2
	二期稻	4.85	144.3
宜蘭	一期稻	0.69	22.5
	二期稻	8.93	115.7
桃園、新竹	一期稻	0.89	29.0
	二期稻	4.15	123.5
苗栗	一期稻	2.92	95.3
	二期稻	13.70	115.7
臺中、彰化、南投	一期稻	2.87	93.7
	二期稻	3.29	97.9
雲林、嘉義、臺南	一期稻	1.79	58.4
	二期稻	7.66	115.7
高雄、屏東	一期稻	0.82	26.8
	二期稻	2.94	87.5
花蓮、臺東	一期稻	1.07	68.9
	二期稻	2.11	125.3

¹¹ Yang, S. S. and Chang H. L., Lai C.M., Chang H.L., Chang E.H., Wei Chia.Bei.. Estimation of methane and nitrous oxide emissions from paddy fields in Taiwan. Renewable Energy 34 p.1916–1922. 2009.

¹² 換算後原數值為宜蘭：266、苗栗：408、雲嘉南：228 $kg-CH_4/ha/season$ 。以 115.7 $kg-CH_4/ha/season$ 取代。

(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之甲烷排放量值，相加後為全年甲烷排放總量。1990 至 2013 年水稻種植甲烷排放量如表 5.4.3、圖 5.4.1 所示。因作物轉作政策、農業活動衰減等因素下，水稻田耕作面積逐年減少，水稻田甲烷排放量漸減，與 1990 年相比，甲烷排放量減少約 42%。近 2 年則因休耕補助由原本的一年兩期改為一年一期，致水稻耕作面積略增，甲烷排放量略增。

(5) 完整性

在活動數據完整性，臺灣農業統計資料中雖註明包含陸稻，但全國耕作面積不超過 10 公頃，差異小於 0.01%，故將之全視為水稻。

排放係數方面，水稻田甲烷排放雖受水稻品種、土壤物化性質、管理方式、前作物種類與殘渣量等多種因素影響，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性範圍內。

本項未估算水稻田施用有機肥而增加有機物量所產生之甲烷排放量。因無法取得有效活動數據，與對應排放係數，對於此部分所產生之甲烷量目前尚無法估算。

3. 不確定性與時間序列的一致性

(1) 不確定性：

為確認本土水稻田甲烷排放係數之不確定

性，檢視 Yang 等人（2003, 2009）的研究中僅說明各分區排放係數平均值與來源，未完整標明標準差、範圍。故首先重新檢視其引用之文獻，估算其平均值與標準差，或範圍。檢視結果如表 5.4.4 所示，部分追溯得之平均排放係數仍與 Yang 等人（2003, 2009）計算數值有些許差異，平均排放係數數值仍以 Yang 等人（2003, 2009）之研究為主，但標準差與範圍則以本文中追溯得之數值進行計算。

在計算過程中因排放係數 ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$) 乘以不同期作之耕期換算為 $\text{kg}/\text{ha}/\text{season}$ ，一期作 136 天，二期作 124 天，而實際田耕作期因氣候、人為因素、區域與品種等而有變異，一期約為 110 至 140 天；二期約 90~130 天。活動數據為水稻耕作面積，不確定性定義為 5%。GWP 實際具有很大的不確定性，然在 2006 IPCC 指南中已將其設定為固定的加權因子。

依據檢視結果，多筆排放係數不確性大於 60%，部分參數非常態分布，故利用 SimulAr 軟體以蒙地卡羅法，估算本土甲烷排放量不確性計算，各基本參數數值模擬次數為 1,000 次。相關參與結果數如表 5.4.4 所示。由蒙地卡羅模擬方法估算水稻田甲烷排放量之不確定性為約 $\pm 51\%$ 。

(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，皆引用自農業統計年報之水稻種植面積。

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

活動數據主要來自農委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。計算方法與結果已經過兩次農業部門溫室氣體排放清冊專家會議審議。

排放係數引自 Yang 等人（2009）發表之論文。由於甲烷使用本土排放係數，為了解本土調查係數之準確確性，故列出與國外水稻田甲烷排放係數比較，如表 5.4.5 所示，排放係數雖略低於其他國家，但仍於差異範圍內，應與各國農業耕作方式差異有關。

表 5.4.2 臺灣 1990 至 2013 年各區水稻耕作面積¹³

（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
2013	406	249	10,862	1	14,174	8,060	6,349	5,066	42,980	37,132	61,913	40,831	10,842	1,421	15,356	14,592

¹³ 行政院農業委員會。中華民國農業統計年報，2015。

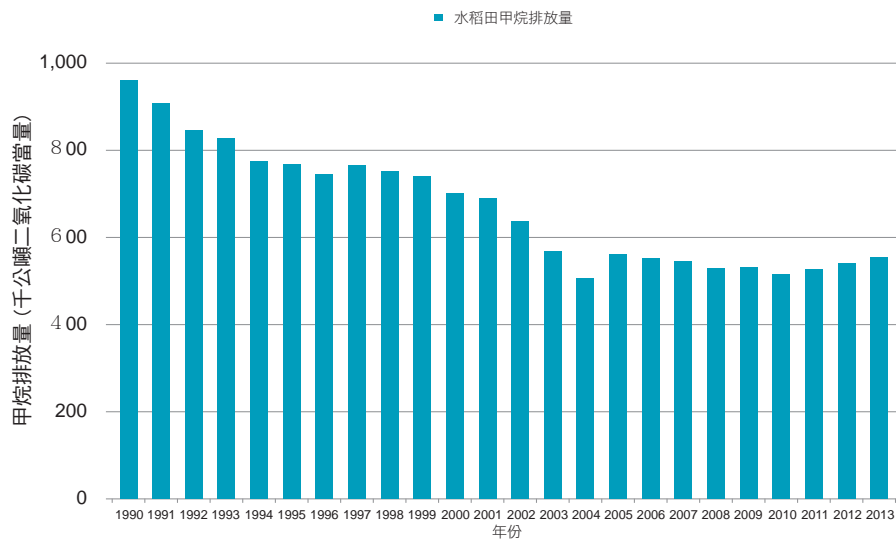


圖 5.4.1 臺灣 1990 至 2013 年水稻田甲烷排放量趨勢

表 5.4.3 臺灣 1990 至 2013 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	12.70	22.99	120.74	71.58	308.35	304.23	55.20	63.75	959.54
1991	10.15	21.07	118.25	64.98	296.45	288.87	48.67	60.01	908.44
1992	7.48	16.19	112.84	62.07	285.70	260.72	40.78	58.95	844.72
1993	6.00	15.18	109.79	58.35	272.12	271.94	35.41	56.49	825.28
1994	4.62	12.23	98.07	56.90	258.99	253.11	34.25	57.07	775.23
1995	4.59	10.07	100.92	55.03	250.01	256.27	30.77	58.81	766.46
1996	3.71	9.60	94.63	52.32	243.53	246.70	31.19	62.84	744.51
1997	3.79	9.35	100.73	53.31	245.03	256.82	28.05	67.58	764.65
1998	3.40	8.51	95.13	51.37	240.10	257.16	27.74	67.89	751.31
1999	3.02	7.67	89.54	49.43	235.16	257.51	27.44	68.19	737.96
2000	2.85	7.18	79.57	45.80	226.28	247.92	25.45	67.07	702.13
2001	2.67	6.58	75.09	41.99	226.70	246.22	24.20	65.74	689.19
2002	2.38	6.00	56.53	38.02	219.23	230.50	20.29	63.60	636.55
2003	2.06	5.87	35.29	35.08	205.75	205.82	17.88	59.65	567.40
2004	2.08	5.42	27.05	28.23	199.32	167.76	14.93	60.09	504.88
2005	1.94	5.40	36.28	32.85	203.64	205.66	14.18	60.85	560.79
2006	1.67	5.40	31.11	30.78	198.75	209.28	11.61	62.47	551.08
2007	1.83	5.27	32.40	30.68	197.59	201.34	10.77	62.80	542.69
2008	1.75	5.17	30.69	29.24	190.96	196.93	10.41	63.82	528.97
2009	1.74	5.13	32.61	28.98	189.34	198.14	9.92	64.50	530.37
2010	1.71	5.29	33.21	25.24	190.93	179.07	10.34	68.33	514.13
2011	1.64	5.34	32.40	26.89	186.85	193.54	9.85	69.53	526.03
2012	1.60	5.62	32.06	27.51	188.45	203.93	9.90	70.49	539.58
2013	1.60	6.11	35.16	29.78	191.56	208.50	10.37	72.16	555.25

表 5.4.4 臺灣各區水稻田甲烷排放係數參數與蒙地卡羅法之不確定性結果

地區	期作	排放係數	標準差	範圍 ¹⁴	機率分布型態	不確定性來源與值			排放量(2013年)與不確定性	
						排放係數	耕作期	活動數據	排放量(計算值)	不確定性
		mg/m ² /h				%	天	%	千公噸二氧化碳當量	%
臺北、基隆	一期稻	2.12	1.38	0.76~2.74	常態	133	110~140	5	0.7	141
	二期稻	4.85	1.70		常態	68	100~130	5	0.9	70
宜蘭	一期稻	0.69	0.11		常態	31	110~140	5	6.1	36
	二期稻	3.89	0.94		常態	48	100~130	5	0.0	52
桃園、新竹	一期稻	0.89	0.05		常態	11	110~140	5	10.3	16
	二期稻	4.15	1.32		常態	63	100~130	5	24.9	69
苗栗	一期稻	2.92	0.83		常態	56	110~140	5	15.1	60
	二期稻	3.89	0.94		常態	47	100~130	5	14.7	51
臺中、彰化、南投	一期稻	2.87	2.95	0.05~7.06	常態	201	110~140	5	100.7	187
	二期稻	3.29	3.15	0.40~11.13	常態	184	100~130	5	90.9	201
雲林、嘉義、臺南	一期稻	1.79	0.75	1.07~2.82	常態	88	110~140	5	90.4	85
	二期稻	3.89	0.94	3.12~10.81	常態	49	100~130	5	118.2	50
高雄、屏東	一期稻	0.82					110~140	5	7.26	121
	二期稻	2.94					100~130	5	3.11	
	小計	1.07(加權平均)		0.02~13.16	三角	-	107~134	5	10.37	
花蓮、臺東	一期稻	2.11	1.46		常態	134	110~140	5	26.4	141
	二期稻	4.21	2.64		常態	127	100~130	5	45.7	127
總合									555.2	51

5. 特定排放源的重新計算

無。

6. 特定排放源的改善計畫

目前計算引用之水稻田甲烷排放係數為 10 至 15 年前以密閉罩法進行調查資料 (Yang 等人 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。目前農委會農業試驗所 (簡稱農試所) 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；並與國外學者合作探討以模式進行模擬作為驗證之可能性。

5.5 農耕土壤 (3.D)

N₂O-N 的排放分為直接排放及間接排放，直接性氧化亞氮排放為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、脫氮率增加。間接性氧化亞氮排放共兩個途徑：其一為管理土壤施用之肥料揮散氨 (NH₃) 和氮氧化物 (NO_x) 後；另一途徑為土壤中的氮素經淋洗和逕流移出。上述氮源，最

¹⁴ 排放係數、標準差、範圍來源為 Yang 等人 (2003；2009)。

表 5.4.5 各國甲烷通量與排放量比較

國家	期作	排放係數 kg 甲烷 /ha	灌溉管理	係數分類	來源
中國大陸		130 (100-220)			IPCC, 1997. ¹⁵
印度		100 (50 - 150)			
印尼		180 (50 - 440)			
義大利		360 (170-540)			
日本		150			
韓國		150			
菲律賓		(250- 300)			
泰國		160 (40 - 400)			
日本	單期	60 ~ 268	單次乾落	土壤類型	日本 NIR, 2014. ¹⁶
義大利	單期	247~335	單次或多次乾落	灌溉類型、播種方式	義大利 NIR, 2014. ¹⁷
臺灣	1 期作	256	多次乾落		IPCC,2006 ¹⁸
臺灣	2 期作	274			
臺灣	1 期作	64 (23~95)		地區	Yang 等人 2009。 ¹⁹
臺灣	2 期作	116 (88~144)		地區	
臺中	1 期作				
臺中	2 期作				

終以銨離子 (NH_4^+) 和硝酸根離子 (NO_3^-) 形態進入土壤和水中後，產生氧化亞氮排放。

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：

直接性氧化亞氮排放為人為施用、土地利用與管理下之礦化作用變化，藉增加有效性氮提升硝化和脫氮率，進而增加氧化亞氮之排放量。

管理土壤中氧化亞氮之直接排放估算，包括以下氮源：化肥 (F_{SN})；肥料用有機氮 (F_{ON})，如動物糞肥、堆肥；污水污泥等；放牧動物之含氮排泄物 (F_{PRP})；作物殘留物 (F_{CR})，含地上

和地下部之固氮作物與牧草；氮礦化之土壤有機質損失因改變土地與管理之礦質土 (F_{SOM})；有機土壤 (F_{OS}) 之排水和管理。

臺灣農地土壤有機質含量 3% 以上僅佔 8% (譚增偉等, 2005)，一般耕地土壤有機質未達基準 (>20%)，且無放牧動物牧草區之活動數據，因此農耕有機土壤及牧草區動物排泄物此兩項項目不計入。依 2006 IPCC 指南說明，污水污泥是指產業有機汙水、污泥，因其含有氮，施用到田中產生的直接或間接氧化亞氮排放。臺灣目前一般產業的汙水、污泥少直接施至農地，大多以廢棄物方式處理，所以不在農地產生氧化亞氮排放（直接氧化亞氮排放），而其處理或流到

15 IPCC, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Workbook (Volume 2). Agriculture, 1997.

16 Ministry of the Environment, Japan. National Greenhouse Gas Inventory Report of JAPAN, 2014.

17 Institute for Environmental Protection and Research (ISPRA), Italian. Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2012 National inventory Report 2014, 18 以 2006 IPCC 指南預設方法估算。

19 數據為中位數與範圍，資料來源：Yang, S.S., Liu C.M., Lai C.M. and Liu Y. L. Estimation of methane and nitrous oxide emission from paddy fields and uplands during 1990–2000 in Taiwan. Chemosphere 52. 1295–1305, 2003.

環境中的 N 源產生之氧化亞氮排放（間接氧化亞氮排放），皆歸屬廢棄物處理部門。故污水汙泥直接施用部分不列入計算，其衍生之間接排放由廢棄部門計算。

2. 方法論議題：

(1) 計算方法

農業土壤的氧化亞氮直接排放調查，臺灣過去已進行許多研究，包含不同作物氧化亞氮排放係數值，然其以單位面積排放值為主，無法完整表示長期農業活動下氮素使用量的變化，故仍參照 2006 IPCC 指南之建議方法 I (Tier I) 進行估算，並依我國農業耕作國情不同進行調整。估算方式如公式 2.1 所示：

公式 5.5.1 管理土壤中 N₂O 直接排放

$$N_2O_{直接-N} = N_2O - N_{N_{施用量}} + N_2O - N_{OS} + N_2O - N_{PRP}$$

$$N_2O - N_{N_{施用量}} = \left\{ \left[\frac{(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) \times EF_1}{(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM})_{FR}} \right] + \left[\frac{(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) \times EF_{1FR}}{(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM})_{FR}} \right] \right\}$$

$$N_2O - N_{OS} = \left[\frac{(F_{OS,CG,Temp} \times EF_{2CG,Temp}) + (F_{OS,CG,Trop} \times EF_{2CG,Trop})}{(F_{OS,F,Temp,NR} \times EF_{2F,Temp,NR}) + (F_{OS,F,Trop} \times EF_{2F,Trop})} \right]$$

$$N_2O - N_{PRP} = \left[(F_{PRP,CPP}) \times EF_{3PRP,CPP} + (F_{PRP,SO}) \times EF_{3PRP,SO} \right]$$

$N_2O_{直接-N}$ = 管理土壤中 N₂O-N 之年直接排放量，kg N₂O-N/年
 $N_2O - N_{N_{施用量}}$ = 管理土壤中施用 N₂O-N 量之年直接排放量，kg N₂O-N/年

$N_2O - N_{OS}$ = 管理有機土壤中 N₂O-N 之年直接排放量，kg N₂O-N/年

$N_2O - N_{PRP}$ = 施用糞尿等排泄物於放牧土壤之年直接排放量，kg N₂O-N/年

F_{SN} = 施用含氮化肥於土壤之年直接排放量，kg N₂O-N/年

F_{ON} = 施用動物糞肥、堆肥、污水污泥和其它有機氮添加物之年直接排放量，kg N₂O-N/年（註：若包括污水污泥，則以廢棄物 (Waste Section) 進行交叉分析，確認避免重複計算 N₂O 排放量）

F_{CR} = 地上與地下部之作物殘留物（如固氮作物、飼草 / 牧草返回土壤之氮源）之年氮量，kg N₂O-N/年

F_{SOM} = 礦質土壤中礦化的年氮量，與土地利用或管理變化引起的土壤有機質中土壤碳的損失相關聯，kg-N/年

F_{OS} = 管理 / 排水有機土壤的年度面積，公頃（註：下標 CG, F, Temp, Trop, NR 和 NP 分別指農田及草地、林地、溫帶、熱帶、富營養和貧營養）

EF_1 = 氮投入引起的 N₂O 排放的排放係數，kg N₂O-N/kg-N 投入。

EF_{1FR} = 是氮投入到水稻田引起的 N₂O 排放的排放係數，kg N₂O-N/kg N 投入。

EF_2 = 排水 / 管理有機土壤中 N₂O 排放的排放係數，kg N₂O-N / 公頃 / 年；（表 5.5.1）

EF_{3PRP} = 放牧牲畜排泄堆積在草場、牧場和圍場上所引起的 N₂O 排放的排放係數，kg N₂O-N/kg

因我國有機質含量大於 20% 之有機土壤比例低，放牧動物於牧草區，因臺灣此系統鮮少且無相關活動數據，故不列入計算。因此簡化方程式為公式 5.5.2：

公式 5.5.2 管理土壤中 N₂O 直接排放

$$N_2O_{直接-N} = N_2O - N_{N_{施用量}} \times EF = \left\{ \left[\frac{(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) \times EF_1}{(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM})_{FR}} \right] + \left[\frac{(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) \times EF_{1FR}}{(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM})_{FR}} \right] \right\}$$

N₂O-N 排放轉化為 N₂O 排放的計算公式如公式 2.3。

公式 5.5.3 N₂O-N 排放轉化為 N₂O 排放公式

$$N_2O_{排放量} = N_2O - N \times 44/28$$

臺灣農業土壤中施用氮源，其因子包括化學肥料的施用氮量、來自動物糞肥或堆肥之有機氮量、作物殘體量所施用的氮量。以下進一步說明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，因臺灣在化肥施用統計資料未區分肥料施用地點，故以水稻田施

肥量 206 kg-N/ha (農試所調查資料²⁰, 平均值 225 kg-N/ha、標準差 99、中位數 206 kg-N/ha, 95% 信賴區間範圍為約 95 至 385 kg-N/ha) 乘上水稻田耕作面積進行估算。

B. 施用的有機氮肥 (F_{ON})

施用的有機氮肥 (F_{ON}) 系指土壤有機氮投入的量, 並使用公式 5.5.4 與公式 5.5.5 進行計算。這包括施用的牲畜糞便、施用到土壤中的污水污泥、施用到土壤中的堆肥以及與其它有機添加物, 如煉油廢棄物、魚肥料、啤酒廢棄物等; 對於此類農業有機廢棄物, 臺灣一般製成堆肥或直接施用於田間。

公式 5.5.4 施用到土壤中的有機氮添加中的氮

$$F_{ON} = F_{AM} + F_{SEW} + F_{COMP} + F_{OOA}$$

F_{ON} = 每年施用到土壤中的有機氮肥總量 (不含來自放牧牲畜的), kg-N/年

F_{AM} = 每年施用到土壤中的牲畜糞肥氮量, kg-N/年。

F_{SEW} = 每年施用到土壤中的污水氮總量, kg-N/年。

F_{COMP} = 每年施用到土壤中的堆肥氮總量, kg-N/年。

F_{OOA} = 每年用作肥料的其它有機添加物的量 (例如, 煉油廢棄物、魚肥料、啤酒廢棄物等), kg-N/年。

公式 5.5.5 施用於土壤的牲畜糞肥中的氮

$$F_{AM} = N_{MMS\ Avb} \times [1 - \text{Frac}_{\text{飼料}} + \text{Frac}_{\text{燃料}} + \text{Frac}_{\text{建築}}]$$

F_{AM} = 每年施用到土壤中的牲畜糞肥氮量, kg-N/年

N_{MMS Avb} = 處理之糞肥氮量, kg-N。

Frac_{飼料} = 用作飼料的處理糞便比例

Frac_{燃料} = 用作燃料的處理糞便比例

Frac_{建築} = 用作建築的處理糞便比例

在本項則直接引用農業統計年報與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

加總, 後乘以氮含量 2.7% (0.5 至 4%), 作為施用的有機氮肥 (F_{ON})。2000 年前因統計資料差異, 為堆肥與禽畜糞加總。

公式 5.5.6 施用於土壤有機氮肥氮

$$F_{AM} = [\text{堆肥} + \text{禽畜舍墊料 (或禽畜糞)}] \times 2.7\%$$

C. 作物殘渣的氮素 (F_{CR})

本項計算返回土壤的作物殘渣中的氮量, 包括飼草或牧草更新過程中礦化的固氮和非固氮牧草中的氮。這可從地上或地下部殘渣的作物產量統計資料和預設係數進行估算。因不同作物類型的殘渣中產量比例、更新時間和氮含量均不同, 應分別計算主要作物類型的殘餘氮量, 然後總和所有作物類型的氮值。2006 IPCC 指南建議至少將作物分為: (1) 非固氮穀物作物 (例如玉米, 水稻, 小麥, 大麥); (2) 固氮穀物和豆類 (例如大豆, 乾豆, 鷹嘴豆, 扁豆); (3) 根莖作物 (例如, 馬鈴薯, 甜薯, 木薯); (4) 固氮牧草作物 (苜蓿, 三葉草) 及 (5) 其它牧草。2006 IPCC 指南亦提供了估算作物殘渣和飼草 / 牧草更新中產生的氮量如公式 5.5.7。

公式 5.5.7 作物殘渣和飼草 / 牧草更新中產生的氮量

$$F_{CR} = \left\{ \begin{aligned} & \text{作物}_{(T)} \times \text{面積}_{(T)} \\ & - \text{面積}_{\text{燃燒}(T)} \times C_f \times \text{Frac}_{\text{更新}(T)} \\ & \times [R_{AG(T)} \times N_{AG(T)} \times (1 - \text{Frac}_{\text{消除}(T)}) + R_{BG(T)} \times N_{BG(T)}] \end{aligned} \right\}$$

F_{CR} = 每年返回土壤中的作物殘渣 (地上部和地下部) 中的氮量, 包括固氮作物和飼草 / 牧草更新中的氮, kg-N/年

作物_(T) = 作物 T 每年收穫的乾物質產量, kg 乾物質 / 公頃

面積_(T) = 作物 T 每年收穫總面積, 公頃 / 年

20 行政院農業委員會農試所, 101 年度「農地施用糞肥調查」結束報告書, 101/11/30。

面積焚燒_(T) = 作物 T 每年焚燒面積，公頃 / 年

C_f = 焚燒係數（無單位）

Frac_{更新(T)} = 作物 T 每年更新的總面積比例，對於平均每 X 年更新牧場的國家，Frac_{更新(T)} = 1/X。

R_{AG(T)} = 作物 T 地上部殘餘乾物質 (AG_{DM(T)}) 與收穫產量的比例 (作物_(T))，kg 乾物質/kg 乾物質 = AG_{DM(T)} × 1000 / 作物_(T)

N_{AG(T)} = 作物 T 地上部殘渣的氮含量，kg-N/kg 乾物質。

Frac_{清除(T)} = 每年為飼料、墊草和用作建築目的清除的作物 T 地上部殘渣的比例，kg-N/kg 作物-N。需要在國內進行專家調查以獲得資料。如果不能獲得關於 Frac_{清除}的資料，假設沒有清除殘渣。

R_{BG(T)} = 作物 T 地下部殘渣與收穫產量的比例，kg 乾物質 / kg 乾物質。如果不能獲得替換資料，（可通過將表 5.5.2 中的 RBG-BIO 和地上部生物量與作物產量的比例相乘，計算 R_{BG(T)} = [(AG_{DM(T)} × 1000 + 作物_(T)) / 作物_(T)]

N_{BG(T)} = 作物 T 地下部殘渣的氮含量，kg-N/kg 乾物質。

T = 作物或牧草類型

依 2006 IPCC 指南建議，作物的產量統計資料需按實地乾重或鮮重進行報告，根據實際農業操作情形可採用修正係數估算乾物質產量（作物_(T)）（公式 5.5.8）。轉換式可採用表 5.5.2 中給出的乾物質含量等的預設值作為參考，然應用的合適性與修正方式取決於各國報告中採用的標準與耕作型式不同而異。

公式 5.5.8 報告作物產量所用的乾重修正

作物_(T) = 鮮重產量_(T) × 乾物比

作物_(T) = 作物 T 收穫的乾物質產量，kg 乾物質 / 公頃

鮮重產量_(T) = 作物 T 收穫產量的鮮重，kg 鮮重 / 公頃

乾物比 = 收穫作物的乾物質比例，kg 乾物質 / kg 鮮重

臺灣的農業殘渣焚燒主要是以水稻稻藁為主，其他如豆類、玉米、甘蔗等焚燒量判斷為零；稻藁使用流向，在綠色國民所得帳皆有估算之統計資料，包含作為堆肥或墊料等，故對於本項作物殘渣之估算，水稻部分以對應活動數據 - 稻藁就地掩埋量計算。其餘作物殘渣掩埋估算中，臺

灣農業操作習慣是直接耕入田中，因此不做焚燒等其他項扣除。另參考農委會對於農地牧草，3 年以上更新一次可申領補助下，設定我國作為生產牧草之農地耕作頻率為 3 年。我國田間綠肥皆有其產量活動數據，不再做殘渣比例換算。

參考公式 5.5.7 與公式 5.5.8 進行簡化與修正作物殘渣量計算式如下：

公式 5.5.9 修正之本土作物殘渣產生的氮量

F_{CR 水稻} = (水稻藁掩埋量 × 水稻藁氮含量)

F_{CR 其他作物} = (作物產量 × 乾物比 × 殘渣比 × 殘渣氮含量)

F_{CR 綠肥} = (作物產量 × 乾物比 × 殘渣氮含量)

F_{CR 牧草} = (作物產量 × 乾物比 × 殘渣比 × 殘渣氮含量) × 1/3

D. 土地利用變化或管理作法 (F_{SOM}) 引起的礦質土壤中土壤有機碳庫的損失所導致的礦化氮

F_{SOM} 系指土地利用變化或管理作法引起的礦質土壤中土壤有機碳的損失所導致的氮的礦化量，土地利用變化和管管理皆會對土壤有機碳儲量造成重要影響。當土壤氮因氧化而損失時，同時會有氮的礦化，而礦化的氮被成為氧化亞氮的氮源之一。

臺灣農地在農業操作下，土壤有機質含量呈現增加或維持平衡狀況（郭鴻裕等，1995；譚增偉等，2005；譚增偉與陳桂暖，2011），因此長期維持農業土壤中的氮礦化量為零或負值，本項不估算。

(2) 排放係數

依據 2006 IPCC 指南氧化亞氮排放量之相關係數，如表 5.5.1；作物殘渣相關係數，如表 5.5.2 所示。為確認表 5.5.2 所使用相關參數，是否能完全對應本土耕作型態與作物種類，因此以 IPCC 預設表（表 5.5.2）為參照基準，對照本土相關文獻研究試驗，估算作物收穫指數（harvest index = 收穫物乾重 / 全株乾重），修正或選擇適當乾物比、作物殘渣比和氮含量。如表 5.5.3 所示。

(3) 活動數據

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

依據農業統計年報，化學肥料的项目包括硫酸銨、尿素、硝酸銨鈣、複合肥料（平均含氮量 17.3%，農糧署公務統計）四項。如表 5.5.4。

a. 水 / 旱田施氮量

目前暫缺乏實際施用於水稻田之氮肥量活動數據，因此水稻田耕作面積乘以水稻田施氮量

206 kg-N/ha 進行估算水稻田施氮量，總施氮量扣除水稻田施氮量後，為旱田施氮量。

B. 施用的有機氮肥

臺灣施用之有機氮肥活動數據引自農業統計年報與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 5.5.6。

C. 農作物殘渣量 (Crop Residue, F_{CR})

依臺灣主要作物型態與統計資料將作物殘渣分類為分為：(1) 水稻 (2) 非固氮穀物作物（包含玉米、高粱、其他-雜糧等）；(3) 固氮作物（落花生、紅豆、大豆、菜豆、豌豆等）；(4) 根莖類作物（包含馬鈴薯、甘藷、蘿蔔、胡蘿蔔、其他根菜類等、蔥、蒜等）；(5) 非固氮綠肥（油菜、其他單播、混播）；(6) 固氮綠肥（田菁、大豆、富貴豆、太陽麻、鐵虎豆、埃及三葉草、青皮豆等）；(7) 非固氮牧草（牧草）；七大類別。

表 5.5.1 農業土壤氧化亞氮直接排放相關係數

排放係數	預設值	本土值	不確定性範圍
礦肥施氮、有機添加物和作物殘渣以及土壤碳損失引起的礦質土壤中氮礦化的 EF_1 (kg N_2O -N/kg-N)	0.01		0.003 - 0.03
水稻田的 EF_{IFR} (kg N_2O -N/kg-N)	0.003		0.000 - 0.006
綿羊和“其它牲畜”的 $EF_{3PRP,50}$ kg N_2O -N / kg-N	0.01		0.003 - 0.03
水稻田施氮肥量 (kg-N/ha)		206	95 - 385
堆肥、禽畜糞肥乾物比 ²¹		0.78	± 10%
堆肥、禽畜糞肥中氮含量 (%) ²²		2.7	0.5 - 4
植物殘渣比率與氮含量		參考表 5.5.3	

21 陳仁炫，有機質肥料的檢測與成分分析結果之解析，2003。

22 行政院農業委員會，肥料要覽，2001。行政院農業委員會農糧署，作物施肥手冊，2003。

因作物統計資料產量調查差異，部分作物進一步區分乾物與鮮物，乾物為作物成熟收穫，收穫物水分含量 20% 以下，鮮物為作物未成熟時收穫或水分含量 70% 以上。臺灣田間綠肥皆有其產量統計，不再做殘渣比例換算。水稻掩埋殘渣之活動數據引自綠色國民所得帳值（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。農作物殘渣掩埋量如表 5.5.7 至表 5.5.9。

E. 農耕有機土壤直接排放

臺灣農地土壤有機質含量 3% 上僅佔 8%（郭鴻裕等，1995；譚增偉等，2005），一般耕地土壤有機質亦未達標準，即表土有機質含量大於 20%，故不列入計算。

（4）排放量

1990 至 2013 年之農業土壤直接氧化亞氮排放總量，估算結果如表 5.5.10。農業土壤的氧化亞氮直接排放主要反應農地氮施用量、殘渣氮量等影響，2013 年與 1990 年相比，農業土壤的氧

表 5.5.2 估算作物殘渣投入土壤的氮量的預設係數²³

作物	收穫產品的乾物質比例 (DRY)	地上部殘餘乾物質 $A_{GDM(T)}$ (Mg/ha): $A_{GDM(T)} = \text{作物 (T)} \times \text{斜率 (T)} + \text{截距 (T)}$					地上部殘渣中的氮含量 (N_{AG})	地下部殘渣與地上部生物量的比例 (R_{BG-BIO})	地下部殘渣中的氮含量 (N_{BG})
		斜率	± 2 s.d. 占均值的 %	截距	± 2 s.d. 占均值的 %	R^2 adj.			
主要作物類型									
穀物	0.88	1.09	± 2%	0.88	± 6%	0.65	0.006	0.22 (± 16%)	0.009
豆類	0.91	1.13	± 19%	0.85	± 56%	0.28	0.008	0.19 (± 45%)	0.008
塊莖	0.22	0.10	± 69%	1.06	± 70%	0.18	0.019	0.20 (± 50%)	0.014
塊根作物、其它	0.94	1.07	± 19%	1.54	± 41%	0.63	0.016	0.20 (± 50%)	0.014
固氮牧草	0.90	0.3	± 50% 預設	0	-	-	0.027	0.40 (± 50%)	0.022
非固氮牧草	0.90	0.3	± 50% 預設	0	-	-	0.015	0.54 (± 50%)	0.012
細項作物									
玉米	0.87	1.03	± 3%	0.61	± 19%	0.76	0.006	0.22 (± 26%)	0.007
稻子	0.89	0.95	± 19%	2.46	± 41%	0.47	0.007	0.16 (± 35%)	NA
高粱	0.89	0.88	± 13%	1.33	± 27%	0.36	0.007	NA	0.006
大豆	0.91	0.93	± 31%	1.35	± 49%	0.16	0.008	0.19 (± 45%)	0.008
馬鈴薯	0.22	0.10	± 69%	1.06	± 70%	0.18	0.019	0.20 (± 50%)m	0.014
花生 (帶莢)	0.94	1.07	± 19%	1.54	± 41%	0.63	0.016	NA	NA

23 IPCC, Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Agriculture, 2006.

表 5.5.3 估算作物殘渣投入土壤的氮量的設定係數

	乾物比 ²⁴	收穫指數 ²⁵	殘渣比 ²⁶	殘渣氮濃度	來源
穀物					
水稻(乾物 ²⁷)	0.89	38	1.65	0.007	IPCC, 2006
玉米(乾物)		53	0.89		Wang 等人, 1986
玉米(乾物)	0.88	41	1.38	0.006	IPCC, 2006
玉米(鮮物 ²⁸)	0.22 ^a	36	1.74		IPCC, 2006
高粱	0.89	43	1.35	0.007	IPCC, 2006
穀物	0.88	39	1.53	0.006	IPCC, 2006
設定值(乾物)	0.88		1.53	0.007	
設定值(鮮物)	0.22		1.53	0.014	
固氮作物					
紅豆(乾物)		60~65	0.66~0.54		李銘全等, 1999。
大豆(乾物)		39	1.56		林順福等, 1991。
花生(乾物)		47±5	1.12		黃勝忠和宋勳, 1995。
花生	0.94	37	1.68	0.016	IPCC, 2006
大豆	0.91	33	1.99	0.008	IPCC, 2006
豆類	0.91	35	1.83	0.008	IPCC, 2006
設定值(乾物)	0.91		1.83	0.008	
設定值(鮮物)	0.80		1.83	0.016	
根莖類					
水芋(鮮物)		70±20	0.43		呂秀英等, 1999。
甘藷(鮮物)		80±30	0.25		賴永昌等, 1996。
塊莖類	0.22	71	0.41	0.019	IPCC, 2006
塊根	0.22 ¹	38	1.67	0.016	IPCC, 2006
馬鈴薯	0.22	73	0.36	0.014	IPCC, 2006
設定值	0.22		0.41	0.016	
綠肥					
固氮綠肥	0.30 ^e	100	1	0.022	IPCC, 2006
非固氮綠肥	0.30 ^e	100	1	0.012	IPCC, 2006
牧草					
固氮牧草	0.30 ^e	65	0.46	0.015	IPCC, 2006

24 因預設乾物比不符合臺灣實際作物型態，乾物比以 0.22、0.8 或 0.3 取代。對於乾物之乾物比、鮮物之乾物比、殘渣比和殘渣氮濃度之不確定性分別設為 10%、20%、50% 和 50%。

25 收穫指數：收穫物乾重 / 全株乾重

26 殘渣比：(1- 收穫指數) / 收穫指數

27 乾物：完熟期才收穫之作物。

28 鮮物：未達完熟期即收穫作物或收穫物水分含量 70% 以上，如根莖類作物。

表 5.5.4 臺灣 1990 至 2013 年化學肥料施用量與施氮量²⁹

(單位：公噸)

年	硫酸銨	尿素	硝酸銨鈣	複合肥料	施用氮量 ³⁰
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
2013	122,277	61,856	166	713,367	177,578

化亞氮直接排放約減少 20%。雖因作物轉作政策下，水稻田面積減少旱作面積增加，而在旱田之氧化亞氮排放係數高於水稻田下，旱田氧化亞氮排放比例有增加之情形，如 1990 至 1996 年間，但在農業活動衰減、合理化施肥推廣等下，施氮總量呈現減少狀態，農業土壤直接氧化亞氮排放總量減少。

(5) 完整性

農地氧化亞氮排放計算，排放係數目前

主要引用 2006 IPCC 指南預設值。活動數據方面，有對於化學肥料，依據農糧署統計資料部分年度有施用氰氮化鈣，但比率低於 0.1%，且非各年度有施用資料，故略過未計算，「其他化學肥料」因該項目無法確定無氮素比例種類，亦略過未計算。此外，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（不包括國內堆肥場產製禽畜堆肥及其它有機質肥料），統計來源為農委會農糧署，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。

²⁹ 行政院農業委員會，中華民國農業統計年報，2015。

³⁰ 各肥料含氮量：硫酸銨：21%；尿素：46%；硝酸銨鈣：20%；複合肥料：17.3%

表 5.5.5 臺灣水稻田耕作面積與施肥量估算

(單位：公噸)

年	水稻 1 期作	水稻 2 期作	水稻總面積 ³¹	水稻田施氮量	旱田施氮量
	ha			t	
1990	242,298	211,968	454,266	93,579	159,424
1991	227,417	201,385	428,802	88,333	179,507
1992	209,474	187,676	397,150	81,813	176,682
1993	211,790	179,137	390,927	80,531	181,720
1994	196,317	169,520	365,837	75,362	188,555
1995	197,571	165,908	363,479	74,877	194,618
1996	182,807	164,955	347,762	71,639	202,675
1997	202,010	162,202	364,212	75,028	161,884
1998	201,424	156,263	357,687	73,683	156,638
1999	197,123	155,942	353,065	72,731	150,401
2000	195,055	144,546	339,601	69,958	175,563
2001	188,553	143,066	331,619	68,314	164,784
2002	177,884	128,956	306,840	63,209	164,574
2003	161,184	110,940	272,125	56,058	144,231
2004	135,314	101,701	237,015	48,825	165,573
2005	158,452	110,571	269,023	55,419	145,410
2006	155,248	107,940	263,188	54,217	147,812
2007	155,459	104,657	260,116	53,584	145,348
2008	148,333	103,959	252,292	51,972	131,557
2009	151,338	103,252	254,590	52,445	136,362
2010	139,941	103,922	243,862	50,236	135,985
2011	153,405	100,849	254,255	52,377	127,186
2012	156,662	104,101	260,762	53,717	128,695
2013	162,869	107,296	270,165	55,654	121,924

根據國內資料（有機農業全球資訊網），國內有機水稻耕作面積，由 1996 年至 2013 年分別為 62 公頃至 2,059 公頃，以每年每公頃 20 噸有機肥施用量（農糧署，2003）估算，並設定氮含量 2.7%，估計水稻田有機氮肥施用量約 33 至 1,111 t-N，僅佔總有機氮施用量比率 2% 以下，傳統水稻田耕作鮮少施用有機肥，故將所有有機氮肥設定投入於旱田計算。

部分作物因收穫指數高，致殘渣比例低，而忽略計算，如甘蔗、葉菜類、花卉類等；茶類與果品等多年生作物假設收穫量等於作物累積量而無殘渣。瓜果類與長期蔬菜等因缺乏殘渣量相關係數未計入。但依目前估算結果，前五類作物產量已涵蓋我國 96% 以上之作物產量（乾物）。

3. 不確定性與時間序列的一致性

(1) 不確定性：

31 行政院農業委員會，中華民國農業統計年報，2015。

表 5.5.6 臺灣 1990 至 2013 年禽畜糞肥料施用量與施氮量

(單位：公噸)

	堆肥	禽畜糞 ³²	禽畜舍墊料 ³³	總氮量
1990	1,313,766	1,760,166		64,737
1991	1,072,602	1,421,175		52,519
1992	921,678	1,332,571		47,474
1993	892,081	1,371,916		47,680
1994	661,707	1,315,837		41,647
1995	716,149	1,014,988		36,458
1996	643,926	1,030,476		35,263
1997	582,307	1,463,448		43,084
1998	484,676	1,098,550		33,343
1999	460,038	1,135,045		33,592
2000	737,897	1,181,344		40,419
2001	2,031,489		90,000	44,679
2002	2,152,062		85,000	47,113
2003	2,212,500		81,000	48,301
2004	2,205,188		71,680	47,951
2005	2,302,694		73,357	50,040
2006	2,366,029		77,902	51,469
2007	2,393,084		68,173	51,834
2008	2,465,486		72,858	53,458
2009	2,453,827		78,909	53,339
2010	2,455,770		72,551	53,246
2011	2,329,480		83,313	50,813
2012	2,449,779		85,011	53,383
2013	2,369,100		74,498	51,462

農業土壤直接氧化亞氮排放之計算由於涵蓋多筆活動數據，且排放係數為非常態分布，不適用誤差傳播法進行估算，因此農地直接氧化亞氮排放不確定性利用 SimulAr 軟體以蒙地卡羅方法進行，活動數據使用 2013 年數值，其不確定性範圍如表 5.5.11 所示。N₂O-N 轉換為氧化亞氮之 44/28 值為固定值。GWP 實際具有很大的不確定性，然在 2006 IPCC 指南中已將其設定為固定的加權因子，各基本參數數值模擬次數為

1,000 次。估算結果，農業土壤的氧化亞氮直接排放之不確定性為 -33%，+122%。

(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 年為農業統計年報中堆肥加禽畜糞之合計用量，2001 至 2013 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

32 1990 至 2000 年數值為「行政院農業委員會，中華民國農業統計年報。」中堆肥 + 禽畜糞。

33 2001 至 2012 年數值為「行政院主計處，綠色國民所得帳編製報告。」中堆肥 + 禽畜舍墊料。

表 5.5.7 各作物產量³⁴

(單位：毫克)

作物 產量類別	水稻	非固氮穀物作物 (不含水稻)		固氮作物		根莖作物	固氮綠肥	非固氮綠肥	非固氮牧草
	乾物	乾物	鮮物	乾物	鮮物	鮮物	鮮物	鮮物	鮮物
1990	1,488,549	391,734	110,891	87,890	118,121	749,570	103,742	50,224	767,559
1991	1,438,064	384,372	107,002	102,822	120,206	803,868	234,976	64,614	735,584
1992	1,370,752	402,851	102,131	93,422	124,514	835,480	536,647	127,131	717,858
1993	1,362,338	405,914	119,605	97,896	120,634	766,306	571,524	152,033	701,374
1994	1,337,095	406,194	103,669	102,115	106,562	743,487	824,816	239,460	736,672
1995	1,345,509	368,919	111,228	110,824	116,005	822,151	641,590	264,105	711,539
1996	1,338,433	342,670	122,890	100,911	107,258	922,848	770,255	294,043	695,690
1997	1,276,657	280,121	118,242	99,320	126,588	870,313	643,611	433,462	626,016
1998	1,225,659	166,593	123,460	79,054	110,289	766,680	1,045,798	494,606	600,649
1999	1,194,666	124,874	112,201	75,750	103,834	928,702	1,402,521	632,189	640,543
2000	1,160,399	102,076	105,643	86,368	114,090	874,767	1,886,716	520,736	1,016,120
2001	1,300,000	83,795	106,772	60,650	112,936	791,882	2,101,026	524,603	946,400
2002	1,460,000	80,808	128,685	85,093	106,719	858,133	2,314,157	518,055	964,017
2003	1,369,000	73,679	114,775	81,192	107,003	795,486	2,941,530	519,672	910,941
2004	1,175,561	60,946	98,666	75,040	108,411	792,657	3,639,272	440,694	934,921
2005	1,203,054	52,610	91,653	59,012	83,619	804,854	2,971,343	278,669	843,162
2006	1,277,599	44,680	91,075	79,579	83,995	798,889	3,104,918	307,805	913,929
2007	1,094,856	41,041	84,985	58,089	66,062	760,419	2,868,136	298,286	769,152
2008	1,078,224	42,367	80,807	62,229	63,238	805,803	2,930,537	300,816	758,441
2009	1,161,635	49,624	87,579	65,710	71,113	799,867	2,941,525	310,196	834,041
2010	1,077,472	46,882	81,237	73,933	70,941	804,492	2,820,769	323,560	792,321
2011	1,229,070	44,889	88,135	79,833	88,263	820,707	2,646,966	336,126	780,373
2012	1,336,537	42,471	75,359	67,702	87,783	744,100	2,516,421	241,156	769,735
2013	1,240,134	50,219	93,465	59,546	84,280	776,787	1,923,807	163,751	904,750

34 行政院農業委員會，中華民國農業統計年報，2015。

非固氮穀物作物(不含水稻-乾物)：飼料玉米、高粱、其他-雜糧、胡麻等。

非固氮穀物作物(鮮物)：食用玉米。

固氮穀物和豆類(乾物)：落花生、紅豆、大豆等。

固氮穀物和豆類(鮮物)：菜豆、豌豆、毛豆等。

根莖作物：甘藷、蘿蔔、胡蘿蔔、其他根菜類、蔥、蒜等。

固氮綠肥：田菁、大豆、富貴豆、太陽麻、鐵虎豆、埃及三葉草、青皮豆等。

非固氮綠肥：油菜、其他單播(大菜約佔半數)、混播等。

表 5.5.8 作物殘餘量³⁵

(單位：毫克)

作物 產量類別	水稻殘渣 ³⁶	非固氮穀物作物 (不含水稻)	非固氮穀 物作物	固氮作物		根莖作物	固氮綠肥	非固氮綠 肥	非固氮牧 草
	乾物	乾物	鮮物	乾物	鮮物	鮮物	鮮物	鮮物	鮮物
1990	1,488,549	527,431	37,326	146,363	190,222	67,611	31,123	15,067	35,308
1991	1,438,064	517,518	36,017	171,229	193,580	72,509	70,493	19,384	33,837
1992	1,370,752	542,399	34,377	155,576	200,517	75,360	160,994	38,139	33,021
1993	1,362,338	546,523	40,259	163,026	194,269	69,121	171,457	45,610	32,263
1994	1,337,095	546,900	34,895	170,052	171,607	67,063	247,445	71,838	33,887
1995	1,345,509	496,713	37,439	184,555	186,814	74,158	192,477	79,232	32,731
1996	1,338,433	461,371	41,365	168,047	172,728	83,241	231,077	88,213	32,002
1997	1,276,657	377,155	39,800	165,398	203,857	78,502	193,083	130,039	28,797
1998	1,225,659	224,301	41,557	131,649	177,609	69,155	313,739	148,382	27,630
1999	1,194,666	168,130	37,767	126,146	167,214	83,769	420,756	189,657	29,465
2000	1,160,399	137,435	35,559	143,829	183,731	78,904	566,015	156,221	46,742
2001	1,300,000	112,821	35,940	101,000	181,872	71,428	630,308	157,381	43,534
2002	1,460,000	108,800	43,315	141,705	171,860	77,404	694,247	155,416	44,345
2003	1,369,000	99,202	38,633	135,209	172,318	71,753	882,459	155,902	41,903
2004	1,175,561	82,058	33,211	124,964	174,585	71,498	1,091,782	132,208	43,006
2005	1,203,054	70,834	30,850	98,272	134,661	72,598	891,403	83,601	38,785
2006	1,277,599	60,157	30,656	132,523	135,266	72,060	931,475	92,342	42,041
2007	1,094,856	55,258	28,606	96,735	106,386	68,590	860,441	89,486	35,381
2008	1,078,224	57,043	27,200	103,631	101,839	72,683	879,161	90,245	34,888
2009	1,161,635	66,814	29,479	109,427	114,521	72,148	882,458	93,059	38,366
2010	1,077,472	63,122	27,345	123,121	114,244	72,565	846,231	97,068	36,447
2011	1,229,070	60,438	29,666	132,946	142,138	74,028	794,090	100,838	35,897
2012	1,336,537	57,183	25,366	112,745	141,366	67,118	754,926	72,347	35,408
2013	1,240,134	67,615	31,460	99,162	135,725	70,066	577,142	49,125	41,618

35 資料來源：除水稻殘渣外，資料由「行政院農業委員會，中華民國農業統計年報」彙整而來。乾物比、殘渣量比等相關設定係數如表 5.5.3。

36 資料來源：水稻殘渣由「行政院主計處，綠色國民所得帳編製報告」彙整與估算。

表 5.5.9 作物殘餘氮量³⁷

(單位：Mg-N)

作物 產量類別	水稻掩埋 殘渣	非固氮穀物作物 (不含水稻)	非固氮 穀物作物		固氮作物		根莖 作物	固氮 綠肥	非固氮 綠肥	非固氮 牧草	作物總殘渣 氮量
			鮮物	乾物	鮮物	乾物					
1990	8,931	3,692	523	1,171	3,044	1,082	685	181	530	19,688	
1991	8,628	3,623	504	1,370	3,097	1,160	1,551	233	508	20,513	
1992	8,225	3,797	481	1,245	3,208	1,206	3,542	458	495	22,493	
1993	8,174	3,826	564	1,304	3,108	1,106	3,772	547	484	22,725	
1994	8,023	3,828	489	1,360	2,746	1,073	5,444	862	508	24,191	
1995	8,073	3,477	524	1,476	2,989	1,187	4,234	951	491	23,252	
1996	8,031	3,230	579	1,344	2,764	1,332	5,084	1,059	480	23,674	
1997	7,660	2,640	557	1,323	3,262	1,256	4,248	1,560	432	22,750	
1998	7,354	1,570	582	1,053	2,842	1,106	6,902	1,781	414	23,459	
1999	7,168	1,177	529	1,009	2,675	1,340	9,257	2,276	442	25,711	
2000	6,962	962	498	1,151	2,940	1,262	12,452	1,875	701	28,600	
2001	7,800	790	503	808	2,910	1,143	13,867	1,889	653	30,195	
2002	8,760	762	606	1,134	2,750	1,238	15,273	1,865	665	32,873	
2003	8,214	694	541	1,082	2,757	1,148	19,414	1,871	629	36,184	
2004	7,053	574	465	1,000	2,793	1,144	24,019	1,586	645	39,078	
2005	7,218	496	432	786	2,155	1,162	19,611	1,003	582	33,246	
2006	7,666	421	429	1,060	2,164	1,153	20,492	1,108	631	34,958	
2007	6,569	387	400	774	1,702	1,097	18,930	1,074	531	31,274	
2008	6,469	399	381	829	1,629	1,163	19,342	1,083	523	31,605	
2009	6,970	468	413	875	1,832	1,154	19,414	1,117	575	32,653	
2010	6,465	442	383	985	1,828	1,161	18,617	1,165	547	31,424	
2011	7,374	423	415	1,064	2,274	1,184	17,470	1,210	538	31,747	
2012	8,019	400	355	902	2,262	1,074	16,608	868	531	30,865	
2013	7,441	473	440	793	2,172	1,121	12,697	590	624	26,351	

³⁷ 作物殘渣氮含量相關設定係數如表 5.5.3。

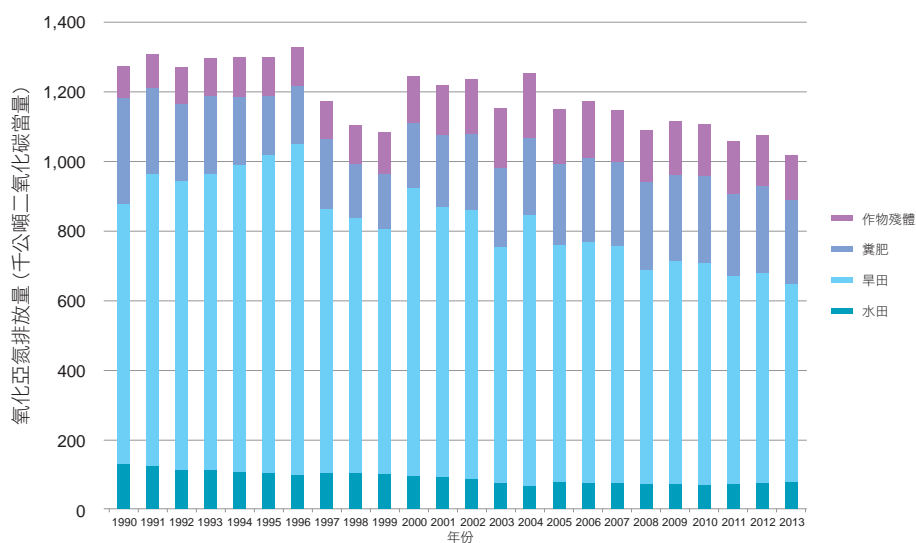


圖 5.5.1 臺灣 1990 至 2013 年農業土壤直接氧化亞氮排放量趨勢

表 5.5.10 臺灣 1990 至 2013 年農業土壤的氧化亞氮直接排放

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年分	化肥		糞肥	作物殘渣	合計排放量
	水稻田	旱田			
1990	131	747	303	93	1,274
1991	124	841	246	97	1,307
1992	115	827	222	106	1,271
1993	113	851	223	107	1,295
1994	106	883	195	114	1,298
1995	105	911	171	110	1,297
1996	101	949	165	112	1,327
1997	105	758	202	107	1,173
1998	104	734	156	111	1,104
1999	102	704	157	121	1,085
2000	98	822	189	135	1,245
2001	96	772	209	142	1,219
2002	89	771	221	155	1,235
2003	79	675	226	170	1,151
2004	69	775	225	184	1,252
2005	78	681	234	157	1,150
2006	76	692	241	164	1,174
2007	75	681	243	147	1,146
2008	73	616	250	149	1,088
2009	74	639	250	154	1,116
2010	71	637	249	148	1,105
2011	74	596	238	150	1,057
2012	75	603	250	145	1,073
2013	78	571	250	126	1,025

表 5.5.11 農地直接氧化亞氮排放係數、活動數據及不確定性

項目		2013 年活動數據	轉換係數			氮投入量 (t-N)	排放係數 (kg N ₂ O-N/kg-N)	排放量 (千公噸二氧化碳當量)
農地化學肥料使用	水稻田	270,165 ha (±5%)	施氮量 206 kg-N/ha (95~385 kg-N/ha)			55,654(±49%)	0.003 (0-0.006)	78
	旱田					121,924(±27%)		571
施用的有機氮肥	堆肥	2,369,100 Mg (±5%)	乾物比 0.78 (±10%) 氮含量 2.7%(0.5%~4%)			51,462 (±63%)	0.01 (0.003 - 0.03)	241
	禽畜舍墊料	74,498 Mg (±5%)						
農作物殘渣量	農作物殘分類		乾物比	殘渣比 (±50%)	氮含量 (±50%)			
	水稻	1,240,134 (±5%)	1 (±10%)	1.00	0.006	7,441(±73%)		
	非固氮穀物作物	50,219(±4%)	0.88 (±10%)	1.53	0.007	473(±73%)		
		93,465(±5%)	0.22 (±20%)	1.53	0.014	440(±75%)		
	固氮作物	59,546(±5%)	0.91 (±10%)	1.83	0.008	793(±71%)		
		84,280(±4%)	0.88 (±20%)	1.83	0.016	2,172(±73%)		126
	根莖類作物 (鮮物)	776,787(±4%)	0.22 (±20%)	0.41	0.016	1,121(±74%)		
	固氮綠肥 (鮮物)	1,923,807(±3%)	0.3 (±20%)	1.00	0.022	12,697(±69%)		
	非固氮綠肥 (鮮物)	163,751(±4%)	0.3 (±20%)	1.00	0.012	590(±73%)		
	非固氮牧草 (鮮物)	904,750(±5%)	0.3 (±20%)	0.46	0.015	624(±74%)		
小計					26,930(40%)		1,016 (-33%,122%)	

表 5.5.12 農地直接氧化亞氮排放本土與預設係數

排放源	排放係數或平均排放係數			來源
	mg-N ₂ O/m ² /h	g-N ₂ O/m ²	kg N ₂ O/kg-N	
水稻田			0.003 (0.000 - 0.006)	IPCC 2006
旱田			0.01 (0.003 - 0.03)	
水稻田一期作	0.121 (0.020~0.174)		0.020 ^a (0.0003~0.028)	Yang 等人, 2003. ³⁸
水稻田二期作	0.048 (0.001~0.105)		0.007 ^a (0.0001~0.016)	
旱田		0.7 (0.11~17.61)	0.017 (0.003~0.431)	
蔬菜		1.04 (0.36~2.81)	0.019 ^b (0.007~0.051)	
水果		1.14 (0.56~2.23)	0.012 ^b (0.006~0.024)	
花卉		0.49 (0.21~0.77)	0.008 ^b (0.003~0.012)	

38 Yang, S. S., Liu, C. M., Lai, C. M. and Liu, Y. L. Estimation of methane and nitrous oxide emission from paddy fields and uplands during 1990-2000 in Taiwan. Chemosphere 52: 1295-1305, 2003.

a 對於單位面積排放係數換算為投入量排放係數，水稻田施氮量是以 200 kg-N/ha，耕作期一期作 136 天、二期作 124 天估算。

b 對於單位面積排放係數換算為投入量排放係數，旱田、蔬菜、水果和花卉之施氮量分別以：260、350、600 和 400 kg-N/ha 估算。

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

活動數據主要來自農委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。排放係數主要引用 2006 IPCC 指南預設係數為主。計算方法與結果已經過兩次農業部門溫室氣體排放清冊專家會議審議。

5. 特定排放源的重新計算

無。

6. 特定排放源的改善計畫

對於直接氧化亞氮排放計算，區分水旱田施肥量，目前已確認農糧署可提供歷年水稻田平均施肥量資訊，將在下一期報告更新。

過去國內有相關研究文獻調查，但建立之排放係數主要為不同作物單位面積排放量 ($\text{kg-N}_2\text{O/ha}$) 與 2006 IPCC 指南估算方法之使用量排放係數 (公斤氧化亞氮/公斤氮) 有較大差異；單位面積排放量雖可反應不同作物之氧化亞氮排放量，但無法反應田間管理變化產生之氧化亞氮排放量，如施肥量，故未直接引用；初步整理比較如表 5.5.1，在旱作本土係數略高於預設係

數，水稻田則高於預設係數，但因調查與估算不同，僅彙整做為參考。目前農試所已正進行相關研究，並彙整前人相關研究評估本土排放係數，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之可行性，以提高農地氧化亞氮排放估算之準確性與精確性。

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：

管理土壤中除了通過一種直接途徑的氧化亞氮直接排放 (即直接來源於施氮土壤)，還包括兩種間接途徑進行的氧化亞氮排放。這些途徑的第一種為肥料和糞肥以 NH_3 和氧化氮 (NO_x) 形式的氮揮發，再沉降後進入土壤和水體表面。第二種途徑為土地的氮淋洗和逕流，來源如下：化肥和有機肥添加物，作物殘渣，與礦質和排水/管理有機土壤中土地利用變化或管理作法引起的土壤碳損失相關聯的氮的礦化，以及放牧牲畜排泄的尿液和糞便。而上述 NH_4^+ 和 NO_3^- 在施氮土地下的地下水中或表面水體中還原成氧化亞氮。

2. 方法論議題：

(1) 計算方法

土壤氧化亞氮間接排放，因缺乏本土排放係數，故參考 2006 IPCC 指南方法 I (Tier I) 進行估算，並依臺灣農業耕作國情不同進行調整。

A. 揮發， $\text{N}_2\text{O}_{(\text{ATD})}$

用公式 5.5.10 估算管理土壤中揮發氮大氣沉積中的氧化亞氮排放：

公式 5.5.10 管理土壤中氮揮發產生的氧化亞氮排放

$$N_2O_{(ATD)} - N = [(F_{SN} \times \text{Frac}_{GASF}] + [(F_{ON} + F_{PRP}) \times \text{Frac}_{GASM}] \times EF_4$$

$N_2O_{(ATD)} - N$ = 每年管理土壤中揮發氮大氣沉積產生的 $N_2O - N$ 的量, $kg N_2O - N / \text{年}$

F_{SN} = 每年施用於土壤的化肥氮量, $kg N / \text{年}$

Frac_{GASF} = 以 NH_3 和 NO_x 形式揮發的化肥氮比例, kg 揮發 N / kg 施用氮 (表 5.5.13)

F_{ON} = 每年施用於土壤的處理牲畜糞肥、堆肥、污水污泥和其它添加的有機氮量, $kg - N / \text{年}$

F_{PRP} = 放牧牲畜每年排泄在草場、牧場和圍場上的尿液和糞便氮量, $kg - N / \text{年}$

Frac_{GASM} = 以 NH_3 和 NO_x 形式揮發的, 施用的有機氮肥物質比例 (F_{ON}) 和放牧牲畜排泄的尿液和糞便氮比例 (F_{PRP}), kg 揮發 N / kg 施用氮或排泄氮 (表 5.5.13)

EF_4 = 土壤和水面氮大氣沉積的 N_2O 排放的排放係數, $N_2O - N / ($ 揮發的 $kg NH_3 - N + NO_x - N)$ (表 5.5.13)

B. 淋洗 / 逕流, $N_2O_{(L)}$

以公式 5.5.11 估算淋洗和逕流發生地區淋洗和逕流中產生的 N_2O 排放：

公式 5.5.11 管理土壤氮淋洗 / 逕流產生的 N_2O 排放

$$N_2O_{(L)} - N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}) \times \text{Frac}_{LEACH-(H)} \times EF_5$$

$N_2O_{(L)} - N$ = 地區每年因土壤中氮淋洗和逕流產生的 $N_2O - N$ 的量, $kg N_2O - N / \text{年}$

F_{SN} = 土壤中化學氮肥量因淋洗 / 逕流而流失量, $kg - N / \text{年}$

F_{ON} = 土壤中牲畜糞肥、堆肥、污水污泥和添加的其它有機氮量因淋洗 / 逕流而流失量, $kg - N / \text{年}$

F_{PRP} = 放牧牲畜每年排泄的尿液和糞便因淋洗 / 逕流而流失氮量, $kg - N / \text{年}$

F_{CR} = 作物殘渣 (地上部和地下部) 中的因淋洗 / 逕流流失氮量, 包括固氮作物和飼草 / 牧草更新中的氮, $kg - N / \text{年}$

F_{SOM} = 淋洗 / 逕流發生地區, 每年礦質土壤中與土地利用或

管理引起的土壤有機質中土壤碳損失相關聯的氮礦化量, $kg - N / \text{年}$

$\text{Frac}_{LEACH-(H)}$ = 管理土壤中通過淋洗和逕流所流失的佔總施氮 / 礦化氮的比例, $kg - N / kg$ 施氮

EF_5 = 氮淋洗和逕流引起的 N_2O 排放的排放係數, $kg N_2O - N / kg$ 淋洗和逕流氮

為了便於報告, 用公式 5.5.3 將 $N_2O_{(ATD)} - N$ 排放量換算成氧化亞氮排放量。

(2) 排放係數

土壤氧化亞氮間接排放的預設排放、揮發和淋洗係數參照 2006 IPCC 指南預設值。

(3) 活動數據

數據來源與施用的化肥 (F_{SN})、施用的有機氮肥 (F_{ON})、(F_{CR}) 與氧化亞氮直接排放計算相同。

(4) 排放量

1990 至 2013 年之農業土壤間接氧化亞氮排放總量, 估算結果如表 5.5.14、表 5.5.15、圖 5.5.2 與圖 5.5.3 所示。間接氧化亞氮排放總量, 因農業活動衰減、合理化施肥推廣等因素下, 氮投入量逐年降低。2013 年揮發與淋洗產生之氧化亞氮排放量, 相較於 1990 年分別減少 21% 與 24%。

表 5.5.13 土壤氧化亞氮間接排放的預設排放、揮發和淋洗係數

因子	IPCC 預設值 (範圍)
EF_4 [N 揮發和再沉降], $kg N_2O - N / (kg NH_3 - N + \text{揮發 } NO_x - N)$	0.010 (0.002 - 0.05)
EF_5 [淋洗 / 逕流], $kg N_2O - N / (kg \text{ 淋洗 / 逕流 } N)$	0.0075 (0.0005 - 0.025)
Frac_{GASF} [化肥揮發], $(kg NH_3 - N + NO_x - N) / (kg \text{ 施用 } N)$	0.10 (0.03 - 0.3)
Frac_{GASM} [所有施用有機氮肥中的揮發, 和放牧牲畜排泄的尿液和糞便], $(kg NH_3 - N + NO_x - N) / (kg \text{ 施用或排泄 } N)$	0.20 (0.05 - 0.5)
$\text{Frac}_{\text{淋洗-(H)}}$ [\sum (雨季的降雨) - \sum (相同時期中的蒸發量) > 土壤持水能力, 或者進行灌溉 (除了滴灌) 的地區, 通過淋洗 / 逕流的氮損失], $kg - N / kg - N \text{ input}$	0.30 (0.1 - 0.8)

(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

A. 揮發

農業土壤間接氧化亞氮排放 - 揮發之計算由於涵蓋多筆活動數據，且排放係數為非常態分佈，不適用誤差傳播法進行估算，因此農地間接

氧化亞氮排放 - 揮發不確定性利用 SimulAr 軟體以蒙地卡羅方法進行，模擬設定對於活動數據、乾物比、殘渣比、氮含量皆設為常態分佈（輸入均值、標準差），活動數據使用 2013 年數值，其不確定性範圍如表 5.5.16 所示；而對於排放係數依 2006 IPCC 指南提供之預設值及範圍以三角分佈模擬（輸入最大、最小值與眾數 / 中位數）。GWP 實際具有很大的不確定性，然在 2006 IPCC 指南中已將其設定為固定的加權因子。各基本

表 5.5.14 臺灣 1990 至 2013 年農業土壤氮揮發的氧化亞氮間接排放量

（單位：千公噸二氧化碳當量）

年分	化肥	糞肥	合計排放量
1990	118	61	179
1991	125	49	175
1992	121	44	166
1993	123	45	167
1994	124	39	163
1995	126	34	160
1996	128	33	161
1997	111	40	151
1998	108	31	139
1999	104	31	136
2000	115	38	153
2001	109	42	151
2002	107	44	151
2003	94	45	139
2004	100	45	145
2005	94	47	141
2006	95	48	143
2007	93	49	142
2008	86	50	136
2009	88	50	138
2010	87	50	137
2011	84	48	132
2012	85	50	135
2013	83	48	131

表 5.5.15 臺灣 1990 至 2013 年農業土壤氮淋洗 / 逕流的氧化亞氮間接排放

(單位:千公噸二氧化碳當量)

年分	化肥	糞肥	作物殘渣	合計排放量
1990	267	68	21	356
1991	282	55	22	359
1992	272	50	24	346
1993	276	50	24	351
1994	278	44	26	348
1995	284	38	25	347
1996	289	37	25	351
1997	250	45	24	319
1998	243	35	25	303
1999	235	35	27	298
2000	259	43	30	332
2001	246	47	32	325
2002	240	50	35	324
2003	211	51	38	300
2004	226	51	41	318
2005	212	53	35	300
2006	213	54	37	304
2007	210	55	33	297
2008	193	56	34	283
2009	199	56	35	290
2010	196	56	33	286
2011	189	54	34	276
2012	192	56	33	281
2013	187	54	28	270

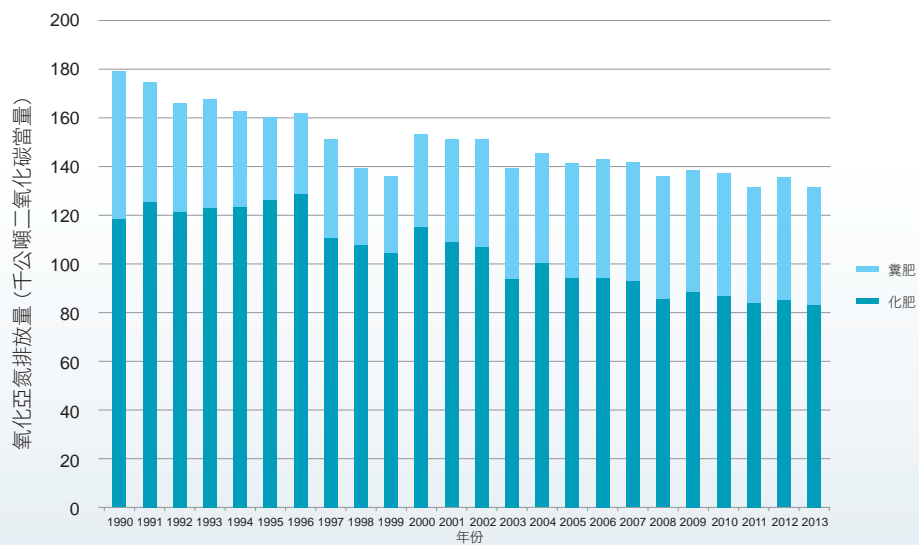


圖 5.5.2 臺灣 1990 至 2013 年農業土壤間接氧化亞氮排放量 - 揮發排放量趨勢

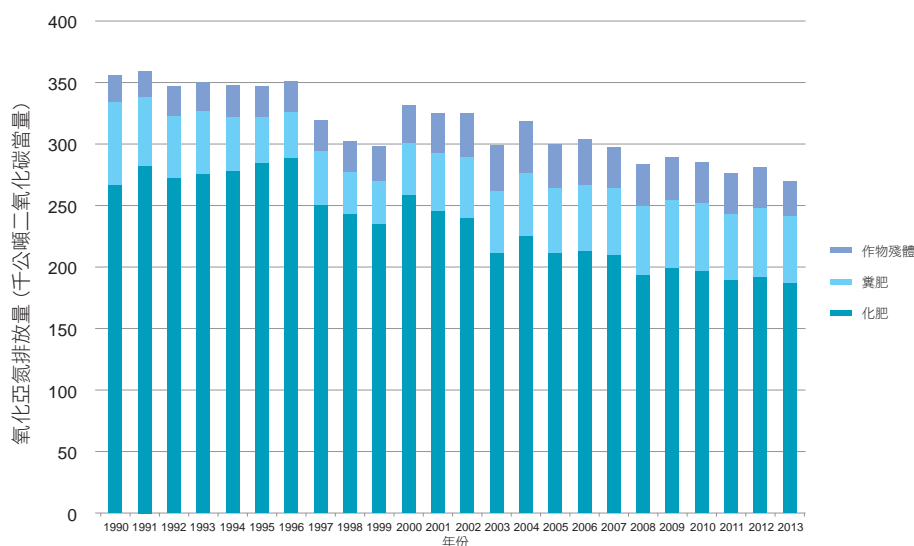


圖 5.5.3 臺灣 1990 至 2013 年農業土壤間接氧化亞氮排放量 - 淋洗排放量趨勢

參數數值模擬次數為 1,000 次。估算結果，如表 5.5.16 所示，農業土壤氧化亞氮的間接排放 - 淋洗 / 逕流之不確定性為 -11%，+440%。

B. 淋洗 / 逕流

農業土壤間接氧化亞氮排放 - 淋洗 / 逕流之計算由於涵蓋多筆活動數據，且排放係數為非常態分佈，不適用誤差傳播法進行估算，因此農地間接氧化亞氮排放 - 淋洗 / 逕流之不確定性利用 SimulAr 軟體以蒙地卡羅方法進行，模擬設定對於活動數據、乾物比、殘渣比、氮含量皆設為

常態分佈（輸入均值、標準差），活動數據使用 2013 年數值，其不確定性範圍如下表 5.5.17 所示；而對於排放係數依 2006 IPCC 指南提供之預設值及範圍以三角分佈模擬（輸入最大、最小值與眾數 / 中位數）。GWP 實際具有很大的不確定性，然在 2006 IPCC 指南中已將其設定為固定的加權因子。各基本參數數值模擬次數為 1,000 次。估算結果如表 5.5.17 所示，農業土壤間接氧化亞氮排放 - 淋洗 / 逕流之不確定性為 -46%，+288%。

農地間接氧化亞氮排放時間序列的一致性，

表 5.5.16 農地土壤間接氧化亞氮排放 - 揮發之揮發係數、排放係數、活動數據及不確定性

項目	2013 年活動數據	轉換係數	氮投入量 (t-N)	揮發係數 (kg NH ₃ -N + NO _x -N) / (kg 施用或排洩 N)	排放係數 (kg N ₂ O-N/kg-N)	排放量 (千公噸二氧化碳當量)
農地化學肥料使用	177,578 t-N (±4%)	-	177,578 t-N (±4%)	0.1 (0.1-0.8)	0.001 (0.0005- 0.05)	83
施用的有機氮肥	堆肥 2,369,100 t (±5%)	乾物比 0.78 (±10%) 氮含量 2.7% (0.5%~4%)	51,462 (±63%)	0.2 (0.05~0.5)		48
	禽畜舍墊料 74,498 t (±5%)					
小計			230,360			131 (-11%, 440%)

同農地直接氧化亞氮排放之說明。

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。

5. 特定排放源的重新計算

無。

6. 特定排放源的改善計畫

目前農試所已進行地下水硝酸態氮之調查、農業長期生態系、不同土壤之氮淋洗與逕流等研究，未來可用於評估農田施用氮素後經淋洗等產

生之間接氧化亞氮排放係數之本土資料。

5.5.3 農業土壤的氧化亞氮排放量

1. 排放量

1990 至 2013 年之農業土壤氧化亞氮排放總量，估算結果如表 5.5.18、圖 5.5.4 所示。氧化亞氮排放總量，因農業活動衰減、作物轉作政策、合理化施肥推廣等因素下，排放量逐年降低，2013 年產生之氧化亞氮排放量，相較於 1990 年減少 21%。

2. 不確定性

不確定性由前述直接氧化亞氮排放、間接

表 5.5.17 農地土壤間接氧化亞氮排放 - 淋洗 / 逕流之排放係數、活動數據及不確定性

項目		2013 年活動數據	轉換係數			氮投入量 (t-N)	淋洗 / 逕流係數 (kg -N/ kg-N input)	排放係數 (kg N ₂ O-N/ kg-N)	排放量 (千公噸二氧化碳當量)	
農地化學肥料使用	水稻田	177,578 t-N (±4%)	施氮量 206 kg-N/ha (95~385 kg-N/ha)			177,578 t-N (±4%)	0.3 (0.1-0.8)	0.0075 (0.0005-0.025)	187	
施用的有機氮肥	堆肥	74,498 t (±5%)	乾物比 0.78 (±10%) 氮含量 2.7% (0.5~4%)			51,462 (63%)			54	
	禽畜舍墊料									
農作物殘渣量	農作物殘分類	1,336,537(±5%)	乾物比	殘渣比 (±50%)	氮含量 (±50%)				28	
	水稻	50,219(±4%)	1 (±10%)	1.00	0.006	8,019(±73%)				
	非固氮穀物作物	(乾物)	93,465(±5%)	0.88 (±10%)	1.53	0.007				473(±73%)
		(鮮物)	59,546(±5%)	0.22 (±20%)	1.53	0.014				440(±75%)
	固氮作物	(乾物)	84,280(±4%)	0.91 (±10%)	1.83	0.008				793(±71%)
		(鮮物)	776,787(±4%)	0.88 (±20%)	1.83	0.016				2,172(±73%)
	根莖類作物 (鮮物)	1,923,807(±3%)	0.22 (±20%)	0.41	0.016	1,121(±74%)				
	固氮綠肥 (鮮物)	163,751(±4%)	0.3 (±20%)	-	0.022	12,697(±69%)				
	非固氮綠肥 (鮮物)	904,750(±5%)	0.3 (±20%)	-	0.012	590(±73%)				
非固氮牧草 (鮮物)	904,750(±5%)	0.3 (±20%)	0.46	0.015	624(±74%)					
小計					26,930(40%)		270 (-46%,288%)			

氧化亞氮排放 - 揮發、間接氧化亞氮排放 - 淋洗再以蒙地卡羅法估算時一同估算。估算結果，農業土壤總氧化亞氮排放之不確定性為 -9%，+128%。

5.6 草原的焚燒 (3.E)

本項估算草原的焚燒相關的非二氧化碳排放，臺灣鮮有此系統，亦無統計資料，故此處不計算。

5.7 農作物殘渣燃燒 (3.F)

本項估算農業殘渣的焚燒相關的非二氧化碳排放。依據 IPCC 2006 指南建議，因假設焚燒過程中釋放的碳會在下一個生長季節被作物或植被再

吸收，不需估算生質量焚燒產生的二氧化碳排放。

1. 排放源及匯分類的描述：

此部分是計算現地焚燒農作物殘渣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 / 氮氧化物。因假設焚燒農作物殘渣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，因此在本項只計算焚燒產生的甲烷及氧化亞氮。我國的農業殘渣焚燒主要是以水稻稻 為主，其他 2006 IPCC 指南所列其他各項殘渣焚燒資料，如穀類、豆類、塊根植物、甘蔗等則少有，因此本項以稻藁之焚燒量來計算。

表 5.5.18 臺灣 1990 至 2013 年農業土壤氧化亞氮排放量

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年分	直接氧化亞氮排放	間接氧化亞氮排放 - 揮發	間接氧化亞氮排放 - 淋洗	合計
1990	1,274	179	356	1,809
1991	1,307	175	359	1,841
1992	1,271	166	346	1,782
1993	1,295	167	351	1,813
1994	1,298	163	348	1,808
1995	1,297	160	347	1,804
1996	1,327	161	351	1,840
1997	1,173	151	319	1,643
1998	1,104	139	303	1,545
1999	1,085	136	298	1,519
2000	1,245	153	332	1,729
2001	1,219	151	325	1,695
2002	1,235	151	324	1,710
2003	1,151	139	300	1,590
2004	1,252	145	318	1,716
2005	1,150	141	300	1,590
2006	1,174	143	304	1,621
2007	1,146	142	297	1,585
2008	1,088	136	283	1,508
2009	1,116	138	290	1,544
2010	1,105	137	286	1,527
2011	1,057	132	276	1,465
2012	1,073	135	281	1,490
2013	1,016	131	270	1,417

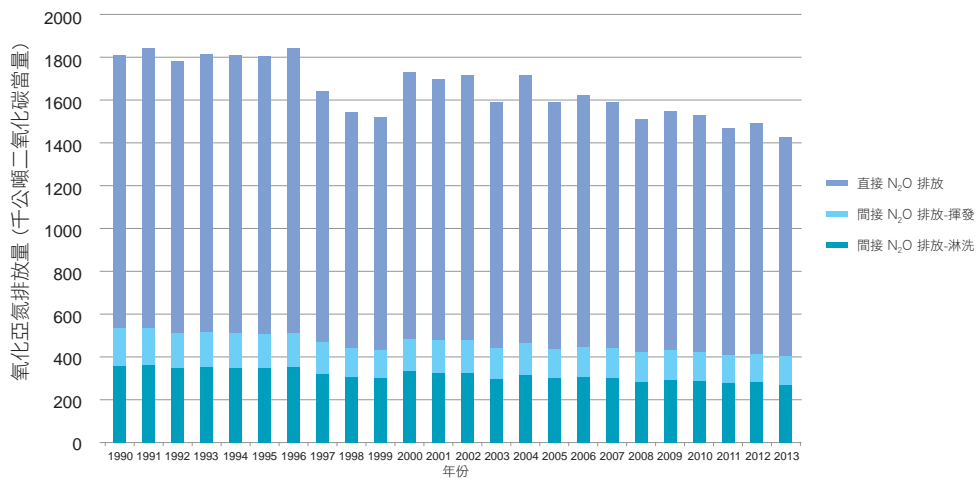


圖 5.5.4 臺灣 1990 至 2013 年農業土壤氧化亞氮排放量趨勢

表 5.5.19 臺灣農業土壤氧化亞氮排放量不確性

農業土壤氧化亞氮排放源	2013 年排放量 (千公噸二氧化碳當量)	下限	上限
直接 N ₂ O 排放	1016	-33%	122%
間接 N ₂ O 排放 - 揮發	131	-11%	440%
間接 N ₂ O 排放 - 淋洗 / 逕流	270	-46%	288%
農業土壤 N ₂ O 排放量	1417	-9%	128%

2. 方法論議題：

(1) 計算方法

本項計有關作物殘渣焚燒之估算方法與係數，係依據 2006 IPCC 指南提供之預設方法 I (Tier I) 與係數計算，公式 5.7.1 及公式 5.7.2 所示，

公式 5.7.1

$$L = A \times M_b \times C_f \times G_{ef} \times 10^{-3}$$

L = 焚燒產生的溫室氣體排放量，Mg-CH₄ 及 Mg-N₂O。
 A = 焚燒面積，公頃
 M_b = 焚燒物的單位面積質量，噸 / 公頃。
 C_f = 焚燒係數，無單位 (表 5.7.1 中的預設值)
 G_{ef} = 排放係數，g/kg 乾物質焚燒 (表 5.7.2 的預設值)

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藁焚燒量統計資料，因此將算式簡化：

公式 5.7.2

$$L = M \times C_f \times G_{ef} \times 10^{-3}$$

M = 焚燒物，稻藁的質量 (t)

(2) 排放係數

以下為 2006 IPCC 指南提供之乾物百分比、排放係數比例的建議值，由於已有直接統計資料，故主要引用係數為稻米殘渣之焚燒係數值與排放係數。

(3) 活動數據

作物殘渣焚燒之活動數據，1999 年前引自農業統計年報：自給肥料 - 草木灰（稻草經焚燒後之灰燼），以焚燒殘餘量 20% 推算被焚燒稻之量。2000 年後引自綠色國民所得帳之稻焚燒量。如表 5.7.3 所示。

(4) 排放量

1990 至 2013 年作物殘渣焚燒產生之甲烷與氧化亞氮排放總量，估算結果如表 5.7.4、圖 5.7.1 所示。臺灣於 1990 年 3 月立法禁止焚燒稻草、行政院農委會自 1996 年起推行現地切斷掩埋法等政策，使 1995 年後稻草焚燒量驟降，相對溫室氣體排放量亦降低，減量約 91%。

(5) 完整性

臺灣的農業殘渣焚燒主要是以水稻稻 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

活動數據不確性為 5%；預設排放係數因未提供不確定性；暫無法估算。

(2) 時間序列的一致性：

殘渣焚燒排放溫室氣排放量之活動數據為不連續，2000 至 2013 年為綠色國民所得帳，2001 年前焚燒量作物殘渣焚燒之活動數據，1999 年前引自農業統計年報：自給肥料 - 草木灰（稻草經焚燒後之灰燼），以焚燒殘餘量 20% 推算被焚燒稻藁之量。2000 年後引自綠色國民所得帳之稻藁焚燒量。

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

活動數據主要來綠色國民所得帳，相同依照國內統計法、統計法施行細則及其他有關法令執行。計算方法與結果已經過兩次農業部門溫室氣體排放清冊專家會議審議。

表 5.7.1 植被類型焚燒相關的焚燒係數值

(焚燒量與原生質量比例)³⁹

植被類型	亞類	排放係數均值 (C_f)
農業殘渣	小麥殘渣	0.90
	玉米殘渣	0.80
	稻米殘渣	0.80
	甘蔗	0.80

表 5.7.2 農業殘渣排放係數

(g/kg 乾物質焚燒量)⁴⁰

項目	甲烷	氧化亞氮
排放係數	2.7	0.07

39 IPCC, Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Agriculture, 2006.

40 IPCC, Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Agriculture, 2006.

表 5.7.3 作物殘渣焚燒量

(單位：公噸)

年	自給肥料 - 草木灰	估算稻藁焚燒量 ⁴¹	稻藁焚燒量 ⁴²
1990	139,331	696,655	
1991	91,705	458,525	
1992	176,126	880,630	
1993	80,517	402,585	
1994	77,325	386,625	
1995	27,496	137,480	
1996	25,717	128,585	
1997	26,331	131,655	
1998	20,911	104,555	
1999	25,535	127,675	
2002	50,999	254,993	
2001	53,065	265,327	279,000
2002	49,407	247,037	238,000
2003	39,878	199,392	164,000
2004			143,362
2005			146,714
2006			155,805
2007			84,474
2008			113,123
2009			93,418
2010			98,214
2011			99,188
2012			100,061
2013			61,080

5. 特定排放源的重新計算

無。

6. 特定排放源的改善計畫

無。

5.8 石灰處理 (3.G)

1. 排放源及匯分類的描述：

使用石灰的目的以改善土壤酸鹼度使土壤

性質適於植物生長，而於土壤中施用碳酸鹽類石灰，例如含鈣性石灰 (CaCO_3) 或白雲岩 ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)，隨著碳酸鹽石灰溶解和釋放碳酸氫鹽 (HCO_3^-)，而轉變為二氧化碳和水，導致二氧化碳排放。

由相關土壤調查文獻，臺灣強酸性土壤，土壤 $\text{pH} < 5.5$ 比率約為 38.1% (譚增偉等 2005)。另外，茶、鳳梨等作物，因為作物生長特特性常種植於酸性土壤中，一般不再施用石灰。石灰推薦用量參考作物施肥手冊 (農糧署，2003) 建議

41 1999 年前引自農業統計年報：自給肥料 - 草木灰，以焚燒殘餘量 20% 推算被焚燒稻 之量。

42 2000 年後引自綠色國民所得帳：稻 焚燒量。

表 5.7.4 作物殘渣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	氧化亞氮
1990	37.6	11.6
1991	24.8	7.7
1992	47.6	14.7
1993	21.7	6.7
1994	20.9	6.5
1995	7.4	2.3
1996	6.9	2.1
1997	7.1	2.2
1998	5.6	1.7
1999	6.9	2.1
2002	13.8	4.3
2001	15.1	4.7
2002	12.9	4.0
2003	8.9	2.7
2004	7.7	2.4
2005	7.9	2.4
2006	8.4	2.6
2007	4.6	1.4
2008	6.1	1.9
2009	5.0	1.6
2010	5.3	1.6
2011	5.4	1.7
2012	5.4	1.7
2013	3.3	1.0

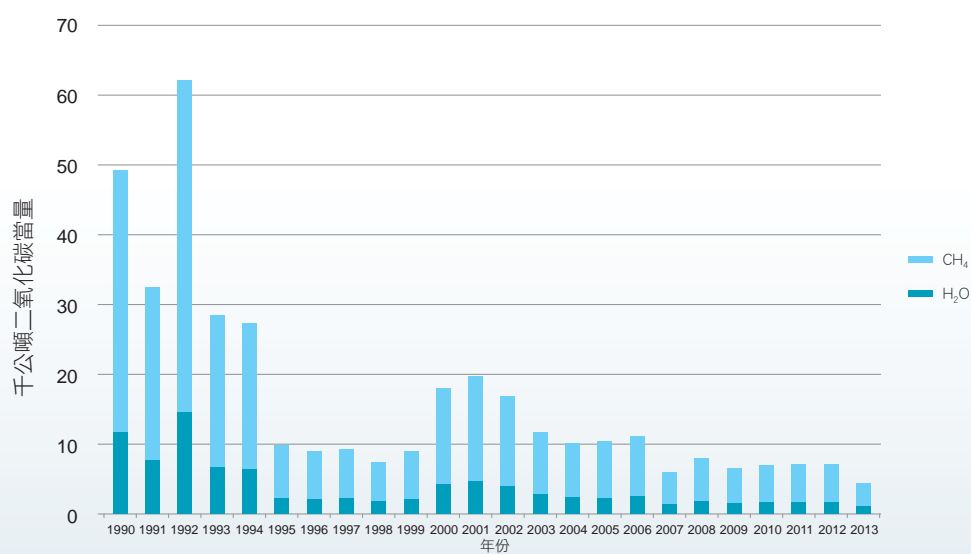


圖 5.7.1 臺灣 1990 至 2013 年作物殘渣焚燒溫室氣體排放量趨勢

土壤 pH 小於 5 每公頃施用石灰 2~3 公噸；pH 小於 6 每公頃施用土石灰（白雲石粉）1 至 2 公噸。以 1 噸 / 年（範圍：0 至 3 噸）進行估算，經估算，臺灣強酸性土面積估算潛在石灰資材用量約 3 至 28 萬噸。另依據連深等（1992）估算，以 1/3 面積土壤需施用石灰資材改良土，約 32 萬公頃，每公頃每 5 年施用一次 2 公噸石灰資材，估計潛在石灰用量每年約 13 萬噸，但評估當時石灰資材用量每年僅約 1 萬噸。以連深等（1992）評估用量為依據，並以 IPCC 預設係數平均值 0.125 計算估計排放量約 5 千公噸二氧化碳-e。然農地酸性改良可使用石灰資材包含生石灰（CaO）、白雲石灰（CaMg（CO₃）₂）、石灰石（CaCO₃）、未鍛燒蚵殼粉（CaCO₃）、鍛燒蚵殼粉（CaO）等，但僅碳酸鹽類列入計算，故此數值應仍屬高估，估計在農業溫室氣體排放量比例在 0.5% 以下，且缺乏直接統計資料，暫不估算。

5.9 尿素使用（3.H）

1. 排放源及匯分類的描述：

尿素的施肥過程中將導致工業生產過程所固定的二氧化碳損失。尿素（CO（NH₂）₂）在水分和尿素酶作用下轉化為銨氮（NH₄⁺）、氫氧離子（OH⁻）和碳酸氫根（HCO₃⁻）。與添加石灰於土壤中的反應相似，形成碳酸氫根後轉變為二氧化碳和水。

2. 方法論議題：

（1）計算方法

參照 2006 IPCC 指南建議方法 1（Tier 1），以活動數據和排放係數相乘，即公式 5.9.1 估算尿素施用過程中之二氧化碳排放；最後乘以 44/12 將二氧化碳 - 碳排放量換算成二氧化碳排放量。

公式 5.9.1 施用尿素產生的年度二氧化碳排放

二氧化碳 - C 排放 = M × EF

二氧化碳 - C 排放 = 尿素施用產生的年度碳排放，噸碳 / 年
M = 每年施用的尿素量，噸尿素 / 年
EF = 排放係數，噸碳 / 噸尿素，預設 = 0.2

（2）排放係數

尿素採用的總排放係數（EF）為 0.20，為尿素（CO（NH₂）₂）原子量中的碳含量的 20%。

（3）活動數據

如農地直接氧化亞氮排放之化肥施用量中的尿素施用量，表 5.9.1 所示。

（4）排放量

尿素施用產生之二氧化碳排放量如圖 5.9.1、表 5.9.1 所示。因尿素成本價格上漲與政府肥料補貼調整下，使尿素施用量在近 10 年間逐年下滑，排放量因尿素施用量減少而逐年下降，2013 年排放量相較 1990 年間少 68%。

（5）完整性

活動數據完整取自農業統計年報之尿素施用量，無缺漏。

3. 不確定性與時間序列的一致性

採用預設不確定性為 -50%，排放量已表示尿素相關之施用的最大絕對排放量，不可能超過預設排放係數，故無正值不確定性。活動數據引自農業統計年報之活動數據，在時間序列上具一致性。活動數據不確定性 5%。利用誤差傳播法組合不確定性，計算結果如下：

$$\text{上限：} U_{\text{urea apply CO}_2} = \sqrt{0^2 + 5^2} = 5\%$$

$$\text{下限：} U_{\text{urea apply CO}_2} = -\sqrt{0^2 + 5^2} = -5\%$$

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

活動數據主要來自農委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。計算方法與結果已經過兩次農業部門溫室氣體排放清冊專家會議審議。

5. 特定排放源的重新計算

無。

表 5.9.1 臺灣 1990 至 2013 年尿素施用產生之二氧化碳排放量

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年	尿素施用量 ⁴³	二氧化碳排放量
	公噸	千公噸二氧化碳當量
1990	193,121	141.6
1991	198,997	145.9
1992	189,649	139.1
1993	178,109	130.6
1994	183,914	134.9
1995	205,923	151.0
1996	205,577	150.8
1997	182,367	133.7
1998	173,169	127.0
1999	161,544	118.5
2002	178,367	130.8
2001	128,509	94.2
2002	127,158	93.2
2003	112,438	82.5
2004	113,914	83.5
2005	84,968	62.3
2006	81,093	59.5
2007	78,358	57.5
2008	77,478	56.8
2009	75,636	55.5
2010	73,420	53.8
2011	71,966	52.8
2012	74,931	54.9
2013	61,856	45.4

43 行政院農業委員會，農業統計年報，2015。

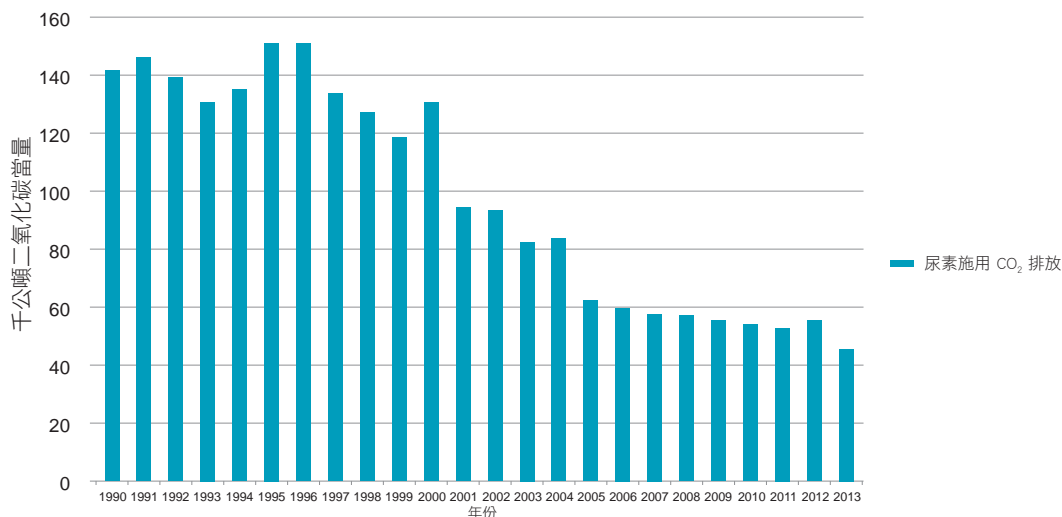


圖 5.9.1 臺灣 1990 至 2013 年尿素施用產生之二氧化碳排放量趨勢

6. 特定排放源的改善計畫

無。

5.10 其他含碳肥料 (3.I)

本項暫未估算

5.11 其他 (3.J)

無其他項目

參考文獻

- IPCC, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management, 2006.
- Jung-Jeng Su, Bee-Yang Liu and Yuan-Chie Chang, Emission of greenhouse gas from livestock waste and wastewater treatment in Taiwan, Agriculture Ecosystem & Environment 95, pp.253-263. 2003.
- 王淑音、黃大駿、許皓豐，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) : 415-422，2001。
- 王淑音、馬維君、黃大駿，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) : 221-230，2002。
- 王淑音、謝憲蔚、王思涵、陳盈豪，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) : 43-50，2003。
- 行政院農業委員會，中華民國農業統計年報，2014。
- 行政院農業委員會，畜禽統計調查結果，2014。
- 行政院主計總處，綠色國民所得帳編製報告。
- 李春芳，行政院農業委員會個人通訊，2014。
- 黃大駿、王淑音，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) : 65-75，2000。
- 黃大駿，台灣地區肉雞產業溫室氣體排放之探討，2000。

12. 蔡明宏、陳筱薇、黃楷翔、林政緯、王淑音，肉鴨腸內發酵溫室氣體排放係數，中國畜牧學會會誌，29（1）：65-75，2003。
13. Chen, I. C., Lai, C. M. and Yang, S. S., Flux and mitigation of methane and carbon dioxide of paddy fields. In: Flux and Mitigation of Greenhouse Gases (IV) . Ed. by Yang, S. S., Global Change Research Center and Department of Agricultural Chemistry, National Taiwan University, and Institute of Biotechnology, National Pingtung University of Science and Technology, Taiwan. pp. 59-69, 2003.
14. IPCC, Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Agriculture, 2006.
15. IPCC, Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Volume I General Guidance and Reporting, Chapter 3. Uncertainties, 2006.
16. Huang, S. N., Liou, R. M., Lin, C. W., Chen, S. H. and Chen, W. S., Emission and mitigation strategies of methane from paddy soils in southern Taiwan. In: Flux and Mitigation of Greenhouse Gases (IV) . Ed. by Yang, S. S., Global Change Research Center and Department of Agricultural Chemistry of National Taiwan University, and Graduate Institute of Biotechnology of National Pingtung University of Science and Technology, Taipei, Taiwan. pp. 135-150, 2003.
17. Yang, S.S., Lin, C.C., Chang, E.H., Chung, R.S., Huang, S.N., Effect of fertilizer, soil type, growth season on methane production and emission in the paddy soils of Taiwan. J. Biomass Energy Soc. China 13, 68-87, 1994.
18. Tan, C. C., Wu, J. T., Shieh, S. W. and Wang, Y. P., Methane emission and mitigation of composting and application of livestock manure (1) . In: Flux and Mitigation of Greenhouse Gases. Ed. by Yang, S. S., Department of Agricultural Chemistry and Global Change Research Center, National Taiwan University, Taipei, Taiwan. pp. 84-97, 1999.
19. Yang, S. S. and Chang, H. L., Effect of environmental conditions on methane production and emission from paddy soil. Agric. Ecosyst. Environ. 69: 69-80, 1998.
20. Yang, S. S. and Chang, H. L., Diurnal variation of methane emission from paddy fields at different growth stages on rice cultivation in Taiwan. Agric. Ecosyst. Environ. 76: 75-84, 1999.
21. Yang S.-S. , Chang H.L., Methane emission from paddy fields in Taiwan, 2001.
22. Yang, S.S., Chang, H.L., Effect of green manure amendment and flooding on methane emission from paddy fields, 2001.
23. Yang, S.S., Liu C.M., Lai C.M. and Liu Y. L., Estimation of methane and nitrous oxide emission from paddy fields and uplands during 1990–2000 in Taiwan. Chemosphere 52. 1295-1305, 2003.
24. Yang, S. S. and Chang H. L., Lai C.M., Chang H.L., Chang E.H., Wei Chia.Bei., Estimation of methane and nitrous oxide emissions from paddy fields in Taiwan. Renewable Energy 34 p.1916-1922, 2009.
25. 行政院農業委員會。中華民國農業統計年報，2015。
26. 行政院農業委員會。畜禽統計調查結果，2015。
27. 行政院主計總處。綠色國民所得帳編製報告，2015。
28. 行政院農業委員會，台灣農家要覽，1995。
29. 行政院農業委員會，肥料要覽，2001。

30. 行政院農業委員會農糧署，作物施肥手冊，2003。
31. 楊敏宗、蘇宗振，我國推動水稻良質米執行成果，農政與農情第 193 期，97 年 7 月。
32. 錢元皓、賴朝明、楊盛行，台灣水田、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 期，2010。
33. 譚增偉、劉禎祺、陳桂暖，土壤肥力與合理化施肥。合理化施肥專刊。P43~62，2005。
34. 譚增偉、陳桂暖，長期不同耕作制度及作物殘體管理對土壤有機質含量的影響。臺灣農業研究 60:2，P.115-124，2011。
35. 郭鴻裕、朱戡良、江志峰、吳懷國，臺灣地區土壤有機質含量及有機資材之施用狀況。有機質肥料合理施用技術研討會專刊，P.72-83，1995。
36. 郭鴻裕，台灣地區酸性土壤之分佈及其利用現況。酸性土壤之特性及其改良研討會論文集。中華土壤肥料學會，p.3-1 - 3-7，1992。
37. 連深、王鐘和、黃維廷，石灰資材之品質及評估。酸性土壤之特性及其改良研討會論文集，pp8-1~8-12，中華土壤肥料學會，1992。
38. 陳仁炫，有機質肥料的檢測與成分分析結果之解析，2003。
39. Wang C. S., Tsao S. H., and Liu D. J., Effects of N Fertilization on the Growth and Yield of Two Maize Hybrids. Jour. agric.res. Cchina. 35 (4) . 437~448, 1986.
40. 李銘全、許秋玫、林順臺、洪阿田，不同氮肥施用量對紅豆接種根瘤菌生長與產量之影響。行政院農業委員會高雄區農業改良場研究彙報。卷期：10:2，頁次：頁 22-31，1999。
41. 林順福、詹國連、魏趨開，每穴種植株數對同質與異質大豆族群生育之影響。中華農業研究。Vol.40。No.3 305-314，1991。
42. 呂秀英、呂椿棠、陳烈夫，水芋收穫指數的動態模式。中華農業研究。Vol.48 No.2，1999，P.86-99。
43. 賴永昌、廖嘉信、陳一心，金山地區春夏作甘藷不同種期對塊根產量之影響。中華農業研究 45 (1)：26-34，1996。
44. 黃勝忠、宋勳台中地區落花生地方品種之純化與生產力評估，臺中區農業改良場研究彙報 46:27-35，1995。

