

## 第五章 農業部門 (CRF Sector 3)

---

- 5.1 部門概述
- 5.2 畜禽腸胃發酵 (3.A)
- 5.3 畜禽糞尿處理 (3.B)
- 5.4 水稻種植 (3.C)
- 5.5 農耕土壤 (3.D)
- 5.6 草原的焚燒 (3.E)
- 5.7 農作物殘渣燃燒 (3.F)
- 5.8 石灰處理 (3.G)
- 5.9 尿素使用 (3.H)
- 5.10 其他含碳肥料 (3.I)
- 5.11 其他 (3.J)

## 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之統計工作，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<sup>1</sup>(2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gases Inventories，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」、3.B「畜禽糞尿處理」、3.C「水稻種植」、3.D「農業土壤」、3.E「草原焚燒」、3.F「作物殘體燃燒」、3.G「石灰處理」、3.H「尿素施用」。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<sup>2</sup>(Global Warming Potential，以下簡稱 GWP) 分別為 25 與 298。

其中畜牧產業之排放源有「畜禽腸胃發酵」(甲烷)及「畜禽糞尿處理」(甲烷及氧化亞氮)，其計算範疇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。農糧產業之排放源主要有來自農地的「水稻種植」(甲烷及氧化亞氮)、「作物殘體燃燒」(甲烷及氧化亞氮)及來自土壤施肥的「農業土壤」(氧化亞氮)、「石灰處理」(二氧化碳)與「尿素施用」(二氧化碳)，至於「草原焚燒」因臺灣地理環境極少草原故不列入計算。上述農糧與畜牧產業於生產活動中使用燃料部分則在能源部門計算。

臺灣 1990 至 2016 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 年起即呈現逐年下降趨勢，主要因臺灣加入世界貿易組織 (World Trade Organization，以下簡稱 WTO) 及經貿自由化、衝擊國內農業生產造成耕地面積及畜禽飼養減少等因素，另提升畜牧糞尿水處理及再利用、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 2 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。臺灣 2016 年農業部門溫室氣體排放源占比如圖 5.1.2，農業土壤 48.6% 為最大占比，其他如畜禽

腸胃發酵占 20.7%、畜禽糞尿處理占 8.8%、水稻種植占 20.5%、尿素施用占 1.2%、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. 排放源及匯分類的描述

甲烷係動物腸胃發酵產生，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養分；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 1998 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(Tier 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

<sup>1</sup> IPCC, Guidelines for National Greenhouse Gases Inventories 2006, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management.

<sup>2</sup> IPCC, Climate Change 2007, the Fourth Assessment Report (AR4) of the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change.

未確認本土腸胃發酵甲烷排放係數者，則採用方法 1(Tier 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。

#### 公式 5.2.1 畜禽腸胃發酵甲烷之排放量

畜禽腸胃發酵甲烷之排放量 = EF × 各類畜禽年度活動數據 × (Gg/10<sup>6</sup>kg)

其中，甲烷排放量：腸胃發酵甲烷排放量 (Gg / 年)

EF：某畜種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 ])、其他牛 ([ 黃牛及雜種牛 + 荷蘭牛 ])、水牛、山羊 ([ 肉羊 ] + [ 乳羊 ])、豬 (所有豬)、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，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、鵝及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。有關臺灣畜禽腸胃發酵排放甲烷之係數詳表 5.2.1。

表 5.1.1 臺灣 1990 年至 2016 年農業部門溫室氣體排放量

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年度	二氧化碳 (CO <sub>2</sub> )		甲烷 (CH <sub>4</sub> )					氧化亞氮 (N <sub>2</sub> O)				農業部門溫室氣體排放量總計
	3G 石灰處理	3H 尿素施用	3 農業部門 排放總量	3A 畜禽腸胃 發酵	3B 畜禽糞尿 處理	3C 水稻種植	3F 作物殘體 燃燒	3 農業部門 排放總量	3B 畜禽糞尿 處理	3D 農耕土壤	3F 作物殘體 燃燒	
1990	NE	142	1,873	670	206	960	38	1,897	48	1,837	12	3,911
1991	NE	146	1,901	731	236	908	25	1,933	50	1,876	8	3,980
1992	NE	139	1,864	738	234	845	48	1,866	52	1,800	15	3,869
1993	NE	131	1,863	775	240	825	22	1,897	54	1,837	7	3,890
1994	NE	135	1,832	789	247	775	21	1,883	59	1,818	7	3,850
1995	NE	151	1,855	822	259	767	7	1,872	61	1,808	2	3,878
1996	NE	151	1,839	822	266	745	7	1,907	67	1,838	2	3,897
1997	NE	134	1,723	732	219	765	7	1,710	70	1,638	2	3,567
1998	NE	127	1,622	674	192	751	6	1,609	71	1,536	2	3,359
1999	NE	119	1,644	694	205	738	7	1,583	72	1,509	2	3,345
2000	NE	131	1,618	692	210	702	14	1,794	73	1,717	4	3,543
2001	NE	94	1,565	660	201	689	15	1,720	71	1,644	5	3,379
2002	NE	93	1,479	636	194	637	13	1,729	70	1,655	4	3,301
2003	NE	83	1,394	626	192	567	9	1,597	71	1,524	3	3,074
2004	NE	84	1,320	614	193	505	8	1,710	69	1,639	2	3,114
2005	NE	62	1,387	623	195	561	8	1,598	71	1,524	2	3,047
2006	NE	60	1,368	614	195	551	8	1,629	72	1,554	3	3,056
2007	NE	58	1,341	609	185	543	5	1,595	71	1,522	1	2,993
2008	NE	57	1,299	584	180	529	6	1,514	72	1,440	2	2,870
2009	NE	56	1,281	571	175	530	5	1,547	71	1,474	2	2,884
2010	NE	54	1,274	578	176	514	5	1,528	70	1,456	2	2,856
2011	NE	53	1,301	590	180	526	5	1,469	71	1,396	2	2,823
2012	NE	55	1,300	583	172	540	5	1,496	71	1,424	2	2,851
2013	NE	45	1,304	579	166	555	3	1,432	71	1,359	1	2,781
2014	NE	40	1,286	566	164	552	4	1,427	73	1,353	1	2,753
2015	NE	38	1,268	573	163	529	4	1,397	74	1,321	1	2,703
2016	NE	33	1,284	561	164	556	3	1,395	76	1,318	1	2,712

備註：1.2005 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.NE (未估計)，指對現有排放量沒有估計。

依據近年臺灣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，產乳牛排放係數為 125.1 kg/頭，其他牛則維持 64.3 kg/頭 (如表 5.2.3)，至於家禽的排放係數引用說明如表 5.2.4。

### (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、其他牛、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，爰以年屠宰隻數為該家禽的活動數據。

### (4) 排放量

臺灣 1990 年至 2016 年畜牧產業之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 年起臺灣為加入世界貿易組織 (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 2001 年以後逐年遞減趨勢。

臺灣畜禽腸胃發酵的甲烷排放量，為包含產乳牛、其他牛、水牛、山羊、豬、白色肉雞、有色肉雞、蛋雞、鵝及鴨等 10 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。

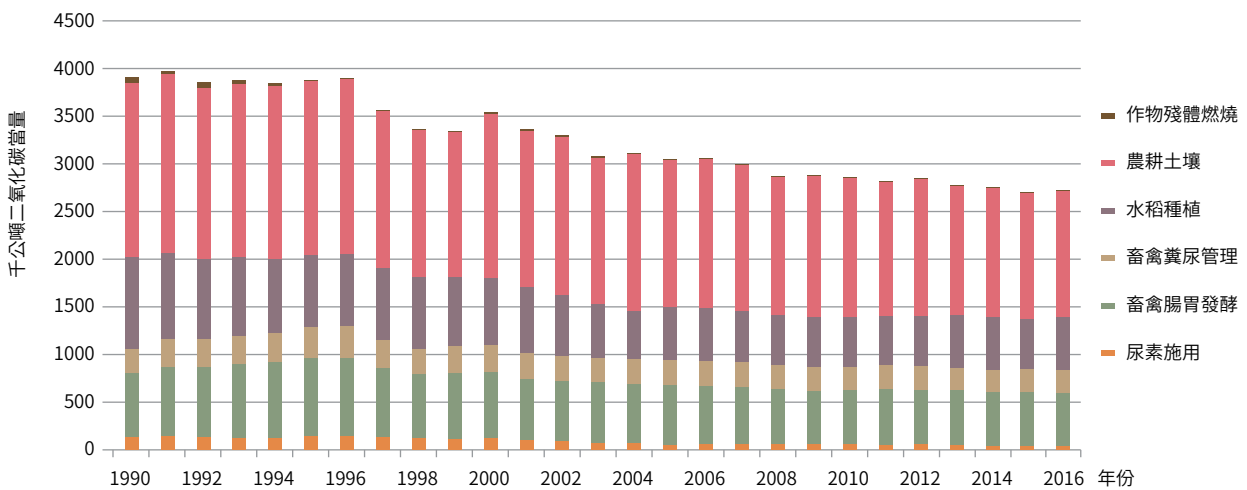


圖 5.1.1 臺灣 1990 至 2016 年農業部門排放量趨勢

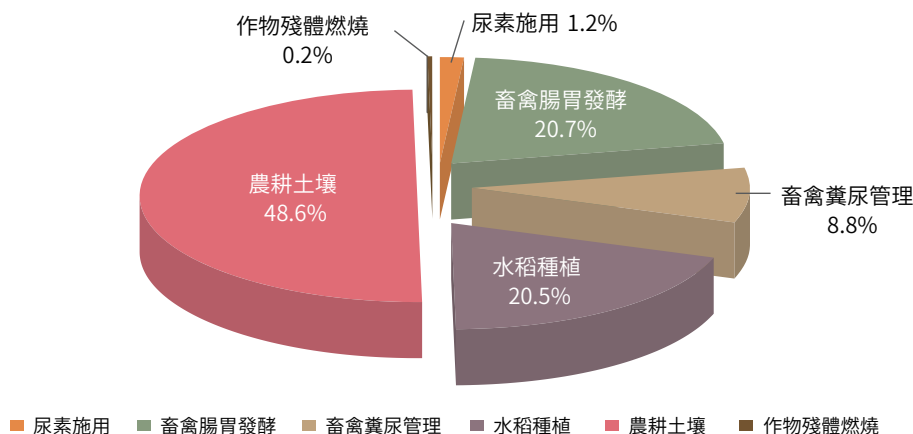


圖 5.1.2 臺灣 2016 年農業部門溫室氣體各排放源占比

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	不確定性 (%)	
腸胃發酵	牛 (Cattle)	產乳牛 (Dairy Cows)	125.1	kg/head/yr	本土值	IPCC 為 61	30	
		其他牛 (Other Cattles)	64.3			IPCC 為 47	30	
	水牛 (Buffalo)	甲烷	55	kg/head/yr	IPCC		30	
	山羊 (Goats)	甲烷	5	kg/head/yr	IPCC		30	
	豬 (Swine)	甲烷	1.5	kg/head/yr	IPCC		30	
	家禽 (Poultry)	白色肉雞	甲烷	$1.587 \times 10^{-5}$	kg/bird/life cycle	本土值	IPCC 資料不足 無法計算	12.1
		有色肉雞		$8.482 \times 10^{-5}$	kg/bird/life cycle	本土值		12.0
		蛋雞		$1.061 \times 10^{-2}$	kg/head/yr	本土值		37.3
		鵝		$1.500 \times 10^{-3}$	kg/bird/life cycle	本土值		27.7
		肉鴨		$2.071 \times 10^{-3}$	kg/bird/life cycle	本土值		21.7

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

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

表 5.2.3 臺灣荷蘭乳牛腸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
頭數比例	55%(43%, 12%)	45%
每年排放係數, kg/head/yr	125.1	64.3

資料來源：李春芳，2014，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 臺灣畜禽腸胃發酵排放甲烷係數引用說明表

	細分類	溫室氣體類別	單位	引用說明
腸胃發酵	白色肉雞 <sup>3</sup>	甲烷	kg/bird/life cycle	依文獻於不同情境下之係數： 1. 冷季 (< 15°C) : $2.04 \times 10^{-5}$ ; 2. 溫季 (15-25°C) : $1.626 \times 10^{-5}$ ; 3. 熱季 (> 25°C) : $1.079 \times 10^{-5}$ ; 計算出平均排放係數： $1.587 \times 10^{-5}$
	有色肉雞 <sup>4</sup>	甲烷	kg/bird/life cycle	依文獻於不同情境下之係數： 1. 冷季 (< 15°C) : $1.2615 \times 10^{-4}$ ; 2. 熱季 (> 25°C) : $4.349 \times 10^{-5}$ ; 計算出平均排放係數： $8.482 \times 10^{-5}$
	蛋雞 <sup>5</sup>	甲烷	kg/head/yr	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排放量為 $1.061 \times 10^{-2}$ 。
	鵝 <sup>6</sup>	甲烷	kg/bird/life cycle	直接引用排放係數： $1.500 \times 10^{-3}$ 。
	肉鴨 <sup>7</sup>	甲烷	kg/bird/life cycle	直接引用排放係數： $2.071 \times 10^{-3}$ 。

<sup>3</sup> Wang, S.Y. and D.J. Huang. 2005. Assessment of greenhouse gas emissions from poultry enteric fermentation. Asian-Australian Journal of Animal Science 18(6):873-878. 65-75。

<sup>4</sup> 同 3

<sup>5</sup> 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。

<sup>6</sup> 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。

<sup>7</sup> 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之評估，中國畜牧學會會誌，32(4)：151，2003。

表 5.2.5 臺灣 1990 至 2016 年畜禽活動數據

(單位：頭(家畜)/千隻(家禽))

年份	細分類	產乳牛	其他牛 <sup>a</sup>	水牛 <sup>a</sup>	山羊 <sup>a</sup>	豬 <sup>a</sup>	白色肉雞 <sup>b</sup>	有色肉雞 <sup>b</sup>	蛋雞 <sup>a</sup>	鵝 <sup>b</sup>	鴨 <sup>b</sup>
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	83,864	3,177	167,103	6,004,717	186,994	118,759	40,452	4,929	27,253
2013		60,500	84,387	2,511	160,850	5,806,237	183,586	102,974	40,937	5,160	32,460
2014		60,103	83,199	2,437	157,778	5,545,010	196,131	109,010	42,079	5,549	36,786
2015		61,859	85,209	2,311	156,045	5,496,216	196,539	105,696	42,547	1,383	33,519
2016		59,601	84,392	2,037	146,000	5,442,381	209,170	112,066	43,966	1,557	34,748

註：1.<sup>a</sup> 為年底在養頭/隻數，<sup>b</sup> 為當年總生產量(年屠宰隻數)。

2. 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)

資料來源：中華民國農業統計年報<sup>8</sup>及畜禽統計調查結果<sup>9</sup>，行政院農業委員會。

表 5.2.6 臺灣 1990 至 2016 年畜禽腸胃發酵之甲烷排放量

(單位：頭(家畜)/千隻(家禽))

年份	細分類	產乳牛	其他牛	水牛	山羊	豬	白色肉雞	有色肉雞	蛋雞	鵝	鴨	合計
1990		144.93	138.28	30.08	25.08	321.20	0.03	0.29	6.86	0.18	1.98	669.62
1991		154.60	136.32	25.60	26.87	378.34	0.04	0.27	7.02	0.17	1.80	731.04
1992		166.68	141.39	22.86	30.91	365.79	0.04	0.29	7.38	0.21	2.01	737.56
1993		180.31	147.02	22.67	45.70	369.18	0.05	0.31	7.62	0.24	2.25	775.36
1994		183.93	145.56	20.50	50.08	377.46	0.05	0.32	8.48	0.32	2.01	788.72
1995		207.59	137.55	17.71	53.78	394.07	0.06	0.32	8.75	0.29	2.10	822.22
1996		196.55	143.16	15.42	53.52	401.19	0.06	0.35	9.67	0.27	2.05	822.24
1997		204.18	147.10	13.20	55.32	298.76	0.07	0.38	10.42	0.28	2.02	731.73
1998		208.02	145.20	11.76	20.32	245.20	0.08	0.37	10.71	0.30	1.74	673.70
1999		206.96	144.49	12.63	45.39	271.62	0.07	0.37	10.84	0.28	1.72	694.38
2000		206.85	141.13	10.68	39.38	281.06	0.08	0.37	10.90	0.24	1.66	692.35
2001		203.68	129.97	8.98	35.51	268.67	0.08	0.34	10.59	0.24	1.56	659.62
2002		201.78	127.91	7.38	31.22	254.77	0.07	0.35	10.60	0.23	1.50	635.83
2003		185.98	135.82	6.75	30.13	254.20	0.08	0.33	10.67	0.24	1.51	625.71
2004		170.81	136.98	6.82	31.17	255.71	0.08	0.31	10.44	0.25	1.58	614.15
2005		166.38	134.59	5.64	33.47	269.80	0.07	0.30	10.71	0.24	1.65	622.84
2006		163.61	132.05	4.86	34.00	265.94	0.07	0.29	10.89	0.25	1.87	613.84
2007		166.29	143.68	4.75	31.84	249.00	0.07	0.29	10.69	0.22	1.81	608.65
2008		164.59	130.95	4.95	29.38	241.62	0.07	0.26	10.86	0.19	1.55	584.44
2009		166.48	129.48	5.31	26.60	230.47	0.08	0.26	10.77	0.17	1.43	571.04
2010		172.94	129.99	5.29	25.61	231.97	0.08	0.26	10.68	0.18	1.48	578.46
2011		178.88	134.21	4.99	23.81	234.96	0.08	0.28	10.71	0.19	1.49	589.59
2012		184.98	134.81	4.37	20.89	225.18	0.07	0.25	10.73	0.18	1.41	582.87
2013		189.21	135.65	3.45	20.11	217.73	0.07	0.22	10.86	0.19	1.68	579.18
2014		187.97	133.74	3.35	19.72	207.94	0.08	0.23	11.16	0.21	1.90	566.31
2015		193.46	136.97	3.18	19.51	206.11	0.08	0.22	11.29	0.05	1.74	572.60
2016		186.40	135.66	2.80	18.25	204.09	0.08	0.24	11.66	0.06	1.80	561.04

<sup>8</sup> 行政院農業委員會，中華民國農業統計年報，2016。<sup>9</sup> 行政院農業委員會，畜禽統計調查結果，2016。

### (5) 完整性

已將臺灣目前主要且穩定飼養之畜禽種類均包括在內。

## 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量之估算，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），依 2006 IPCC 指南設定不確定性為 5%；至於排放係數方面，若使用本土係數，則以試驗結果之變異係數(CV%)為其不確定性之偏差值，又本土係數無法計算 CV% 者，直接引用 IPCC 不確定性之參考值；若直接使用 IPCC 之排放係數則直接引用 IPCC 不確定性數值。由於畜牧部門之溫室氣體排放量主要採用 Tier1 方式計算，依 IPCC 建議，相乘不確定性及加總不確定性則以誤差傳遞法（高斯 Gaussian 法；IPCC，2006）進行不確定性計算。各分項之相乘不確定性則以排放係數平方加上活動係數平方後開根號為其所得（公式 5.2.2）。加總不確定性則以各分項之相乘不確定性平方和後除上總排放量再開根號為其所得（公式 5.2.3）。經計算後 2016 年腸胃發酵甲烷排放量之不確定性為 30.55%。

#### 公式 5.2.2

$$\text{相乘不確定性} = \sqrt{(\text{排放係數不確定性}^2 + \text{活動係數不確定性}^2)}$$

#### 公式 5.2.3

$$\text{加總不確定性} = \sqrt{\frac{\sum (\text{各細分類CO}_2\text{當量排放量} \times \text{相乘不確定性}^2)}{\text{各細分類總合CO}_2\text{當量排放量}}}$$

### (2) 時間序列的一致性

除產乳牛之甲烷排放係數外，1990 年至 2016 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，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。QA/QC 及查證流程為在準備農業部門畜牧部分（含 3.A 畜禽腸胃發酵及 3.B 畜禽糞尿處理）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，經修正後再提送農委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。最後送行政院環境保護署併同其他部門之清冊，辦理國家溫室氣體清冊之 QA/QC 及查證程序。

## 5. 特定排放源的重新計算

以往產乳牛及其他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產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，其他牛則維持 64.3 公斤 / 頭 / 年<sup>10</sup>。

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，而農委會畜試所進行之國內豬隻活體溫室氣體排放量調查，已將摘要發表於 2015 年 12 月份中國畜牧學會會誌，顯示國內豬隻腸胃發酵甲烷排放係數為 3.04 公克 / 頭 / 日或 1.11 公斤 / 頭 / 年，將俟該研究報告完備後再予採用。

<sup>10</sup> 李春芳 2014，個人通訊，行政院農業委員會畜產試驗所營養組。

## 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

#### 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，環境保護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。所以臺灣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。另外，山羊及水牛部分，臺灣飼養量較少，相關研究亦少，則使用 2006 IPCC 指南設定之排放係數。

至於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 1998 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，因此臺灣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。

公式 5.3.1 畜禽糞尿處理之甲烷排放量

畜禽糞尿處理之甲烷排放量 = EF × 各類畜禽年度活動數據 × (Gg/10<sup>6</sup>kg)

其中，甲烷排放量：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])、其他牛 ([黃牛及雜種牛 + 荷蘭牛])、水牛、山羊 ([肉羊] + [乳羊])、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，確立乳牛、豬、肉雞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。有關臺灣畜禽糞尿處理排放甲烷之係數及引用說明詳表 5.3.1 及表 5.3.2。

### (3) 活動數據

同表 5.2.5。

### (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，尚因臺灣自 1980 年代末期起環境保護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，如表 5.3.3 所示。

臺灣畜禽糞尿處理中甲烷排放量，包含產乳牛、其他牛、水牛、山羊、豬、白色肉雞、有色肉雞及蛋雞等 8 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。

## 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），依 2006

IPCC 指南設定不確定性為 5%；至於排放係數方面，若使用本土係數，則以試驗結果之 CV% 為其不確定性之偏差值，又本土係數無法計算 CV% 者，直接引用 IPCC 不確定性之參考值；若直接使用 IPCC 之排放係數則直接引用 IPCC 不確定性數值。由於畜牧部門之溫室氣體排放量主要採用 Tier1 方式計算，依 IPCC 建議，相乘不確定性及加總不確定性則以誤差傳遞法 (IPCC, 2006) 進行不確定性計算。各分項之相乘不確定性則以排放係數不確定性之平方加上活動係數不確定性平方後開根號為其所得 (公式 5.3.2)。加總不確定性則以各分項之相乘不確定性平方和後除上總排放量再開根號為其所得 (公式 5.3.3)。計算後 2016 年糞尿處理甲烷排放量之不確定性為 15.04%。

公式 5.3.2

$$\text{相乘不確定性} = \sqrt{(\text{排放係數不確定性}^2 + \text{活動係數不確定性}^2)}$$

公式 5.3.3

$$\text{加總不確定性} = \sqrt{\frac{\sum(\text{各細分類CO}_2\text{當量排放量} \times \text{相乘不確定性}^2)}{\text{各細分類總CO}_2\text{當量排放量}}}$$

表 5.3.1 臺灣畜禽糞尿處理排放甲烷之係數表

	細分類		溫室氣體類別	排放係數 (EF)				
				係數	單位	來源	說明	不確定性 (%)
糞尿處理	牛 (Cattle)	產乳牛 (Dairy Cows)	甲烷	4.898	kg/head/yr	本土值	IPCC 為 23	4.7
		其他牛 (Other Cattles)		1				30
	水牛 (Buffalo)		甲烷	2	kg/head/yr	IPCC		30
	山羊 (Goats)		甲烷	0.2	kg/head/yr	IPCC		30
	豬 (Swine)		甲烷	0.768	kg/head/yr	IPCC	IPCC 為 5	11.8
	家禽 (Poultry)	a. 白色肉雞	甲烷	0.00476	kg/bird/life cycle	本土值	IPCC 為 0.02	13.9
		b. 有色肉雞		0.00476	kg/bird/life cycle	本土值	IPCC 為 0.02	13.9
c. 蛋雞		0.00999		kg/head/yr	本土值	IPCC 為 0.03	30.4	

IPCC 資料以年均溫 23 度之資料為主。

表 5.3.2 臺灣畜禽糞尿處理排放甲烷係數引用說明表

	細分類	溫室氣體類別	單位	引用說明
糞尿處理	產乳牛 <sup>11</sup>	甲烷	kg/head/yr	依文獻於不同情境下之係數： 1. 月均溫 < 20°C：5.398；2. 月均溫介於 20~25°C：4.802； 3. 月均溫介於 26~30°C：4.495；計算出平均排放係數：4.898
	豬 <sup>12</sup>	甲烷	kg/head/yr	依文獻於不同情境下之係數： 1. 月均溫 < 20°C：1.393；2. 月均溫介於 20~25°C：0.462； 3. 月均溫介於 26~30°C：0.449；計算出平均排放係數：0.768
	肉雞 <sup>13</sup> (白色肉雞、有色肉雞)	甲烷	kg/bird/life cycle	依文獻於不同情境下之係數： 冷季 (< 15°C)：4.480 × 10 <sup>-5</sup> ；溫季 (15-25°C)：3.245 × 10 <sup>-3</sup> ； 熱季 (> 25°C)：1.25 × 10 <sup>-2</sup> ；計算出平均排放係數：4.76 × 10 <sup>-3</sup>
	蛋雞 <sup>14</sup>	甲烷	kg/bird/yr	直接引用排放係數：0.00999

<sup>11</sup> Su, J.J., B.Y. Liu and Y. C. Chang 2003, Emission of greenhouse gas from livestock waste and wastewater treatment in Taiwan, Agriculture Ecosystem & Environment 95, 253-263.

<sup>12</sup> 同註 11。

<sup>13</sup> 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。

<sup>14</sup> 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。

## (2) 時間序列的一致性

1990 年至 2016 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

同章節 5.2 3.A 「畜禽腸胃發酵」之說明。

## 5. 特定排放源的重新計算

無。

## 6. 特定排放源的改善計畫

目前農業部門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

大致與章節 5.3.1 「畜禽糞尿處理 - 甲烷」之排放源相同。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。至於對山羊及水牛因臺灣飼養量少、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<sup>15、16、17</sup>。

公式 5.3.4 畜禽糞尿處理之氧化亞氮排放量

畜禽糞尿處理之氧化亞氮排放量 = EF × 各類畜禽年度活動數據 × (Gg/10<sup>6</sup>kg)

表 5.3.3 臺灣 1990 年至 2016 年畜禽糞尿處理之甲烷排放量

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年份	細分類	產乳牛	其他牛	水牛	山羊	豬	白色肉雞	有色肉雞	蛋雞	合計
1990		5.67	2.15	1.09	1.03	164.45	8.86	16.14	6.46	205.87
1991		6.05	2.12	0.93	1.07	193.71	10.89	15.08	6.61	236.47
1992		6.53	2.20	0.83	1.24	187.29	12.41	16.28	6.95	233.71
1993		7.06	2.29	0.82	1.83	189.02	14.66	17.60	7.17	240.45
1994		7.20	2.26	0.75	2.00	193.26	15.89	17.84	7.98	247.19
1995		8.13	2.14	0.64	2.15	201.76	17.78	17.94	8.24	258.79
1996		7.70	2.23	0.56	2.14	205.41	19.04	19.53	9.11	265.70
1997		7.99	2.29	0.48	2.21	152.96	22.05	21.43	9.81	219.22
1998		8.14	2.26	0.43	2.01	125.54	22.55	20.85	10.09	191.88
1999		8.10	2.25	0.46	1.82	139.07	22.02	20.86	10.21	204.79
2000		8.10	2.19	0.39	1.58	143.90	22.75	20.66	10.26	209.84
2001		7.79	2.02	0.33	1.42	137.56	22.53	19.28	9.98	201.08
2002		7.90	1.99	0.27	1.25	130.44	22.45	19.56	9.98	193.85
2003		7.28	2.11	0.25	1.21	130.15	22.63	18.62	10.05	192.29
2004		6.69	2.13	0.25	1.25	130.92	24.69	17.35	9.83	193.10
2005		6.51	2.09	0.21	1.34	138.14	19.88	17.08	10.08	195.32
2006		6.41	2.05	0.18	1.36	136.16	21.64	16.54	10.25	194.59
2007		6.51	2.23	0.17	1.27	127.49	21.11	16.13	10.07	184.99
2008		6.44	2.04	0.18	1.18	123.71	21.26	14.63	10.23	179.67
2009		6.52	2.01	0.19	1.06	118.00	22.67	14.42	10.14	175.02
2010		6.77	2.02	0.19	1.02	118.77	22.85	14.74	10.06	176.42
2011		7.00	2.09	0.18	0.95	120.30	23.88	15.57	10.08	180.06
2012		7.24	2.10	0.16	0.84	115.29	22.25	14.13	10.10	172.11
2013		7.41	2.11	0.13	0.80	111.48	21.85	12.25	10.22	166.25
2014		7.36	2.08	0.12	0.79	106.46	23.34	12.97	10.51	163.64
2015		7.57	2.13	0.12	0.78	105.53	23.39	12.58	10.63	162.72
2016		7.30	2.11	0.10	0.73	104.49	24.89	13.34	10.98	163.94

<sup>15</sup> 同註 13。

<sup>16</sup> 同註 14。

<sup>17</sup> 同註 11。

其中，氧化亞氮排放：某種牲畜糞尿管理系統中的  
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；至於山羊、鵝及鴨部分因無國內研究，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；至於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，如表 5.3.4 所示。

## (3) 活動數據

同表 5.2.5。

## (4) 排放量

臺灣畜禽糞尿處理中氧化亞氮排放量，除前開隨畜  
禽飼養量起伏，2001 年以後逐年遞減趨勢外，尚因臺灣  
自 1980 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，更使  
畜禽糞尿處理中氧化亞氮排放量呈現逐年遞減趨勢（表  
5.3.6）。

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 5 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、牛糞尿處理多以提升畜牧糞尿水處理及再  
利用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。另對臺灣飼養量  
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 5.3.4 臺灣畜禽糞尿處理排放氧化亞氮之係數表

	細分類		溫室氣體 類別	排放係數 (EF)					
				係數	單位	來源	說明	不確定性 (%)	
糞尿 處理	牛 (Cattle)	產乳牛 (Dairy Cows)	氧化亞氮	0.011	kg/head/yr	本土值		58.3	
	豬 (Swine)		氧化亞氮	0.002	kg/head/yr	本土值		50.0	
	家禽 (Poultry)	a. 白色肉雞	氧化亞氮		$6.43 \times 10^{-6}$	kg/bird/life cycle	本土值		13.1
		b. 有色肉雞			$6.43 \times 10^{-6}$	kg/bird/life cycle	本土值		13.1
	c. 蛋雞			0.0055	kg/bird/yr	本土值		21.8	

表 5.3.5 臺灣畜禽糞尿處理排放氧化亞氮係數引用說明表

	細分類	溫室氣體類別	單位	引用說明
糞尿 處理	產乳牛 <sup>18</sup>	氧化亞氮	kg/head/yr	依文獻於不同情境下之係數： 1. 月均溫 < 20°C : 0.008 ; 2. 月均溫介於 20~25°C : 0.010 ; 3. 月均溫介於 26~30°C : 0.016 ; 計算出平均排放係數 : 0.011
	豬 <sup>19</sup>	氧化亞氮	kg/head/yr	依文獻於不同情境下之係數： 1. 月均溫 < 20°C : 0.002 ; 2. 月均溫介於 20~25°C : 0.001 ; 3. 月均溫介於 26~30°C : 0.001 ; 計算出平均排放係數 : 0.002
	肉雞 <sup>20</sup> (白色肉雞、有色肉雞)	氧化亞氮	kg/bird/life cycle	依文獻於不同情境下之係數： 冷季 (< 15°C) : $1.753 \times 10^{-5}$ ; 溫季 (15-25°C) : $2.104 \times 10^{-6}$ ; 熱季 (> 25°C) : $4 \times 10^{-6}$ ; 計算出平均排放係數 : $6.43 \times 10^{-6}$
	蛋雞 <sup>21</sup>	氧化亞氮	kg/bird/yr	直接引用排放係數 : 0.0055

<sup>18</sup> 同註 11。

<sup>19</sup> 同註 11。

<sup>20</sup> 同註 13。

<sup>21</sup> 同註 14。

### 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），依 2006 IPCC 指南設定不確定性為 5%；至於排放係數方面，若使用本土係數，則以試驗結果之 CV% 為其不確定性之偏差值，又本土係數無法計算 CV% 者，直接引用 IPCC 不確定性之參考值；若直接使用 IPCC 之排放係數則直接引用 IPCC 不確定性數值。由於畜牧部門之溫室氣體排放量主要採用 Tier1 方式計算，依 IPCC 建議，相乘不確定性及加總不確定性則以誤差傳遞法（高斯 Gaussian 法；IPCC, 2006）進行不確定性計算。各分項之相乘不確定性則以排放係數平方加上活動係數平方後開根號為其所得（公式 5.3.5）。加總不確定性則以各分項之相乘不確定性平方和後除上總排放量再開根號為其所得（公式 5.3.6）。計算後 2016 年糞尿處理氧化亞氮排放量之不確定性 24.35%。

#### 公式 5.3.5

$$\text{相乘不確定性} = \sqrt{(\text{排放係數不確定性}^2 + \text{活動係數不確定性}^2)}$$

#### 公式 5.3.6

$$\text{加總不確定性} = \sqrt{\frac{\sum(\text{各細分類CO}_2\text{當量排放量} \times \text{相乘不確定性}^2)}{\text{各細分類總合CO}_2\text{當量排放量}}}$$

#### (2) 時間序列的一致性

1990 年至 2016 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

同章節 5.2.3.A 「畜禽腸胃發酵」之說明。

#### 5. 特定排放源的重新計算

無。

#### 6. 特定排放源的改善計畫

目前農業部門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、減量及區域性沼氣發電模式等。

表 5.3.6 臺灣 1990 年至 2016 年畜禽糞尿處理之氧化亞氮排放量

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年份	細分類	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
2014		0.20	3.30	0.38	0.21	68.97	73.05
2015		0.20	3.28	0.38	0.20	69.73	73.79
2016		0.20	3.24	0.40	0.21	72.06	76.11

## 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，主要影響因素包含氣候、土壤特性、水稻品種、灌溉管理、農耕操作、有機物質添加量、肥料型態與施用量等。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設為零。

### 1. 排放源及匯分類的描述

因臺灣地處亞熱帶至熱帶間，水稻一年可兩收，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，再以耕耘機將殘體耕入田間。因臺灣各地氣候、土壤、肥料和農業操作皆有其區域特性(農委會，1995；Yang et al., 1994)<sup>22,23</sup>，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，採用本土排放係數並參考相關文獻下，將臺灣依地理特性，分為八個區域進行估算。

## 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，以方法 2(Tier 2)，引用本土排放係數進行計算，水稻田之甲烷排放量計算方式如公式 5.4.1，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

$$CH_{4\text{水稻}} = \sum_{i,j,k} (EF_i \times A_i \times 10^{-6})$$

EF<sub>i</sub> = 各區各期水稻田排放係數，kg-CH<sub>4</sub>/ha/season。

A<sub>i</sub> = 各區各期水稻種植面積，ha/年。

### (2) 排放係數

排放係數引用本土水稻之排放係數，如表 5.4.1 所示，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)將文獻中排放係數單位 mg CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/h 換為期作排放係數 kg CH<sub>4</sub>/ha/season。惟宜蘭、苗栗、雲林、嘉義、臺南地區之二期作排放係數偏高，依部會內專家委員意見，以其他地區平均值 3.89 mg CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/h 計算，換算期作排放係數為 115.7 kg CH<sub>4</sub>/ha/season。

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	排放係數 <sup>24</sup> (mg CH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /h)	期作排放係數(kg CH <sub>4</sub> /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

備註：排放係數為引用文獻數值，期作排放係數為實際量測數值。

<sup>22</sup> Yang, S.S., Lin, C.C., Chang, E.H., Chung, R.S. and 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.

<sup>23</sup> 行政院農業委員會，臺灣農家要覽，1995。

<sup>24</sup> Yang, S. S., Lai, C. M., Chang, H. L., Chang, E.H., Wei, C. B., Estimation of methane and nitrous oxide emissions from paddy fields in Taiwan. Renewable Energy, 34:1916–1922, 2009.

### (3) 活動數據

歷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，依前述八分區，並分為兩期作，來源如表 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之甲烷排放量值，相加後為全年甲烷排放總量。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%。近年則因休耕補助由原本的一年兩期改為一年一期，以活化休耕田，致水稻耕作面積略增，甲烷排放量略增。

### (5) 完整性

在活動數據完整性方面，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。

在排放係數方面，水稻田甲烷排放雖受水稻品種、土壤理化性質、管理方式、前作物種類與殘體量等多種因素影響，而我國水稻栽培在上述因素變異多，不易逐一評估其係數，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

依據文獻中各分區排放係數之標準差或範圍，及其引用之相關文獻，評估水稻田甲烷排放係數之不確定性，各區排放係數之不確定性彙整如表 5.4.4 所示。

在計算過程中因排放係數 (mg-CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/h) 乘以不同期作之耕期換算為期作排放係數 (kg-CH<sub>4</sub>/ha/season)，一期作 136 天，二期作 124 天，而實際田間耕作期因氣候、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 至 130 天。活動數據為水稻耕作面積，係農委會統計資料，依 2006 IPCC 指南設定不確定性定義為 5%。暖化潛勢 (GWP) 實際具有很大的不確定性，然在 IPCC 指南中已將其設定為固定的加權因子。

表 5.4.2 歷年各區水稻耕作面積

(單位：公頃)

年份	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
2014	394	243	10,943	0	15,632	7,912	6,570	4,974	43,025	35,784	64,184	39,468	10,251	1,549	15,604	14,519
2015	350	243	11,112	10	6,023	7,333	3,723	4,869	42,205	35,846	57,077	40,507	10,448	1,743	15,659	14,712
2016	389	247	11,242	0	17,441	7,446	6,669	5,241	43,320	35,690	63,616	39,702	10,579	1,748	15,618	14,893

備註：資料來源為農委會之農業統計年報<sup>25</sup>。

<sup>25</sup> 行政院農業委員會，中華民國農業統計年報，2016。

因多筆排放係數不確性大於 60%，部分參數非常態分佈，依據 IPCC 指南建議，以蒙地卡羅方法進行評估，故利用 SimulAr 軟體以蒙地卡羅法，估算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 -48% ~ 50%。

(2) 時間序列的一致性：

1990 年至 2016 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，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 QA/QC 及查證流程準備。農業部門排放

表 5.4.3 臺灣各區 1990 年至 2016 年水稻田甲烷排放量

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年份	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	水稻田甲烷排放量
1990	12.70	23.00	120.79	71.59	308.32	304.29	55.18	63.74	959.61
1991	10.15	21.08	118.29	64.98	296.43	288.92	48.65	60.00	908.51
1992	7.48	16.20	112.88	62.07	285.68	260.77	40.76	58.94	844.78
1993	6.00	15.19	109.83	58.35	272.10	271.99	35.40	56.48	825.34
1994	4.62	12.23	98.11	56.90	258.97	253.16	34.23	57.06	775.28
1995	4.59	10.08	100.96	55.03	249.99	256.32	30.75	58.80	766.52
1996	3.71	9.60	94.66	52.33	243.51	246.75	31.18	62.82	744.56
1997	3.79	9.36	100.76	53.31	245.02	256.88	28.04	67.57	764.71
1998	3.40	8.52	95.17	51.37	240.08	257.22	27.73	67.87	751.36
1999	3.02	7.68	89.57	49.43	235.15	257.56	27.43	68.18	738.01
2000	2.85	7.19	79.60	45.80	226.27	247.97	25.44	67.06	702.18
2001	2.67	6.59	75.13	41.99	226.68	246.27	24.19	65.72	689.25
2002	2.38	6.01	56.55	38.03	219.21	230.55	20.28	63.59	636.59
2003	2.06	5.88	35.30	35.08	205.74	205.87	17.87	59.64	567.43
2004	2.08	5.43	27.05	28.24	199.30	167.80	14.92	60.08	504.89
2005	1.94	5.40	36.30	32.85	203.62	205.70	14.17	60.84	560.83
2006	1.67	5.40	31.12	30.79	198.74	209.33	11.61	62.45	551.11
2007	1.83	5.28	32.42	30.68	197.57	201.39	10.76	62.79	542.72
2008	1.75	5.17	30.70	29.24	190.95	196.97	10.41	63.81	529.00
2009	1.74	5.14	32.63	28.98	189.32	198.19	9.91	64.49	530.40
2010	1.71	5.30	33.23	25.24	190.92	179.11	10.33	68.32	514.15
2011	1.64	5.34	32.41	26.89	186.83	193.58	9.84	69.51	526.06
2012	1.60	5.63	32.07	27.51	188.44	203.98	9.89	70.48	539.60
2013	1.60	6.12	35.18	29.78	191.55	208.54	10.36	72.15	555.28
2014	1.56	6.16	35.78	30.04	188.35	207.92	10.25	72.34	552.40
2015	1.48	6.29	27.02	22.95	186.58	200.54	10.80	73.04	528.71
2016	1.56	6.33	35.66	31.05	188.81	207.76	10.90	73.54	555.62

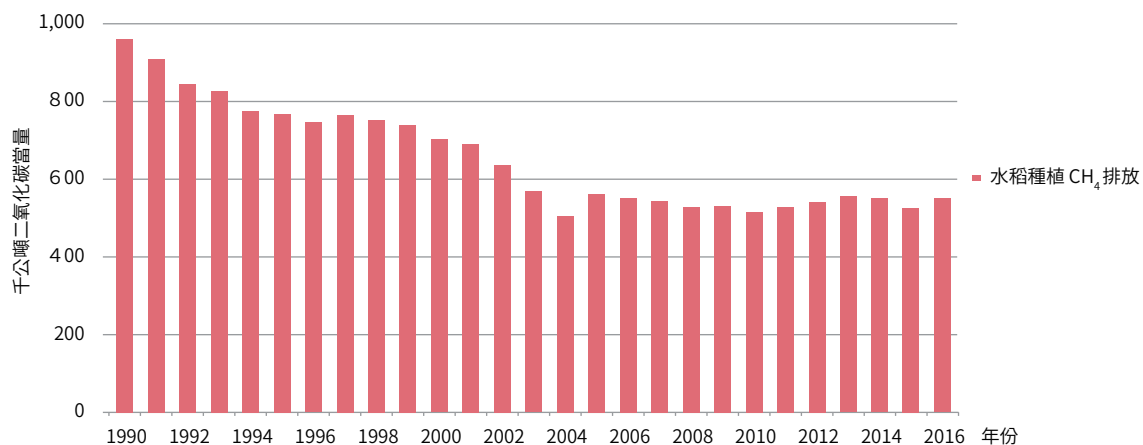


圖 5.4.1 臺灣 1990 年至 2016 年水稻田甲烷排放趨勢

源，包括 3.C「水稻種植」、3.D「農耕土壤」、3.E「草原的焚燒」、3.F「農作物殘渣燃燒」、3.G「石灰處理」及 3.H「尿素使用」之排放量統計過程中，先安排專家諮詢及同行審議機制，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，經修正後再提送農委會農業及林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之 QA/QC 及查證。最後，送行政院環境保護署辦理國家溫室氣體清冊之 QA/QC 及查證程序。

由於甲烷使用本土排放係數，為了解本土調查係數之準確性，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。

## 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九年前以密閉罩法進行調查資料 (Yang et al., 2009)<sup>30</sup>。雖然，該方法在量測過程可能破壞自然狀態，造成量測誤差。由於，調查廣泛且資料多，故仍具有一定之代表性，而為農業部門排放量計算引用。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，預期於 2019 年前提出以渦流協變法 (Eddy Covariance Method, EC) 及密閉罩法 (Chamber Method) 之比較，並進行甲烷排放係數之調整與更新。

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	活動數據 不確定性	排放係數不確定性來源與值				排放量與不確定性		
			排放係數			耕作期 差異	期作排放係數 不確定性	排放量 (2016 年)	不確定性
			計算值	標準差	範圍				
		%	mg CH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /h			天		千噸二氧化碳當量	
臺北、基隆	一期稻	5	2.12	1.38	0.76~2.74	110~140	-124% ~ 114%	0.67	-124% ~ 113%
	二期稻	5	4.85	1.70	-	90~130	-69% ~ 61%	0.89	-69% ~ 62%
宜蘭	一期稻	5	0.69	0.11	-	110~140	-34% ~ 25%	6.33	-36% ~ 25%
	二期稻	5	3.89	0.94	-	90~130	-55% ~ 41%	0.00	-
桃園、新竹	一期稻	5	0.89	0.05	-	110~140	-19% ~ 7%	12.49	-20% ~ 9%
	二期稻	5	4.15	1.32	-	90~130	-67% ~ 51%	22.99	-66% ~ 49%
苗栗	一期稻	5	2.92	0.83	-	110~140	-56% ~ 49%	15.89	-56% ~ 52%
	二期稻	5	3.89	0.94	-	90~130	-50% ~ 43%	15.16	-50% ~ 42%
臺中、彰化、 南投	一期稻	5	2.87	2.95	0.05~7.06	110~140	-196% ~ 185%	101.45	-193% ~ 187%
	二期稻	5	3.29	3.15	0.40~11.13	90~130	-174% ~ 178	87.36	-176% ~ 175%
雲林、嘉義、 臺南	一期稻	5	1.79	0.75	1.07~2.82	110~140	-83% ~ 76%	92.92	-83% ~ 79%
	二期稻	5	3.89	0.94	-	90~130	-53% ~ 39%	114.84	-53% ~ 40%
高雄、屏東	一期稻	5	0.82	-	0.02~13.16	101~135	-53% ~ 846%	10.90	-55% ~ 827%
	二期稻	5	2.94	-	-	-	-	-	-
花蓮、臺東	一期稻	5	2.11	1.46	-	110~140	-130% ~ 118%	26.89	-129% ~ 120%
	二期稻	5	4.21	2.64	-	90~130	-123% ~ 105%	46.65	-123% ~ 104%
總計								555.62	-48% ~ 50%

備註：「宜蘭」、「苗栗」、「雲林、嘉義、臺南」排放係數之計算值，依部會內審議建議，調整為其它地區之二期作平均值。其餘計算值、標準差、範圍等。  
資料來源：Yang et al., 2009<sup>26</sup>。

表 5.4.5 甲烷通量與排放量比較

國家	期作	排放係數 (kg CH <sub>4</sub> /ha)	灌溉管理	係數分類
日本 <sup>27</sup>	單期	60 ~ 268	單次排水	土壤類型
義大利 <sup>28</sup>	單期	247~335	單次或多次排水	灌溉類型、播種方式
臺灣 <sup>29</sup>	1 期作	64 (23~95)	多次排水	地區
	2 期作	116 (88~144)		地區

備註：排放係數為範圍或中位數 (範圍)

<sup>26</sup> 同註 23。

<sup>27</sup> Ministry of the Environment, Japan, National Greenhouse Gas Inventory Report of Japan, 2014.

<sup>28</sup> Institute for Environmental Protection and Research (ISPRA), Italian, Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2012 National Inventory Report, 2014.

<sup>29</sup> 同註 23。

<sup>30</sup> 同註 23。



## 5.5 農業土壤 (3.D)

氧化亞氮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，包括農地施用化學氮肥、有機氮肥、作物殘體的埋入或改變土地利用管理等，這些農業活動使氮素進入土壤，造成土壤有效性氮的增加、脫氮量增加，而造成氧化亞氮的排放。間接性氧化亞氮排放共兩個途徑：其一為農業土壤施用之肥料揮散氨 (NH<sub>3</sub>) 和氮氧化物 (NO<sub>x</sub>)；另一途徑為土壤中的氮素經淋洗和逕流移出。上述氮源，最終以銨離子 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 和硝酸離子 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 型態再進入土壤和水中後，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係為人為肥料施用、土地利用與管理，使氮素進入土壤，增加土壤有效性氮，提升硝化和脫氮量，進而增加氧化亞氮之排放量。

農業土壤中氧化亞氮之直接排放估算，包括以下氮源：(1) 化肥 (F<sub>SN</sub>)；(2) 有機氮肥 (F<sub>ON</sub>)，如動物糞肥、堆肥、廢水污泥等；(3) 放牧動物之含氮排泄物 (F<sub>PRP</sub>)；(4) 作物殘體 (F<sub>CR</sub>)，含地上和地下部之固氮作物與牧草等；(5) 礦質土壤因改變土地利用與管理，土壤有機質礦化之氮損失 (F<sub>SOM</sub>)；(7) 有機土壤 (F<sub>OS</sub>) 之排水和管理。

臺灣農地土壤有機質含量 3% 以上僅佔 8% (譚等, 2005)<sup>31</sup>，一般耕地土壤有機質未達有機土壤基準 (>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。臺灣目前農、畜牧等相關產業的廢水或污泥很少直接施至農地，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)，而其處理或流到環境中的氮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。

#### 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，然因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 1(Tier 1) 進行估算，並依臺灣農業耕作國情之活動數據不同進行調整。估算方式如公式 5.5.1 所示：

公式 5.5.1 農業土壤中氧化亞氮直接排放

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

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

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

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

N<sub>2</sub>O<sub>直接-N</sub> = 農業土壤中 N<sub>2</sub>O 之年直接排放量，公噸 N<sub>2</sub>O/年  
 N<sub>2</sub>O-N<sub>N<sub>施用量</sub></sub> = 農業土壤中施用氮肥之年直接排放量，公噸 N<sub>2</sub>O/年  
 N<sub>2</sub>O-N<sub>OS</sub> = 農業有機土壤中氮素之年直接排放量，公噸 N<sub>2</sub>O/年  
 N<sub>2</sub>O-N<sub>PRP</sub> = 放牧牲畜排泄堆積在草場、牧場和圍場上之年直接排放量，公噸 N<sub>2</sub>O/年  
 F<sub>SN</sub> = 每年施用於土壤的化肥氮含量，公噸 N/年  
 F<sub>ON</sub> = 每年施用有機肥氮含量，公噸 N/年  
 F<sub>CR</sub> = 每年作物殘體氮含量，公噸 N/年  
 F<sub>SOM</sub> = 土地利用變化或管理作法引起的礦質土壤有機碳損失所導致的氮礦化量，公噸 N/年  
 F<sub>OS</sub> = 管理 / 排水有機土壤的年度面積，ha/年 (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)  
 F<sub>PRP</sub> = 每年放牧牲畜排泄堆積在草場、牧場和圍場上的糞尿氮含量，公噸 N/年  
 EF<sub>1</sub> = 氮投入到旱田引起的 N<sub>2</sub>O 排放的排放係數，kg N<sub>2</sub>O-N / kg N 投入  
 EF<sub>1FR</sub> = 氮投入到水稻田引起的 N<sub>2</sub>O 排放的排放係數，kg N<sub>2</sub>O-N / kg N 投入  
 EF<sub>2</sub> = 排水 / 管理有機土壤中氧化亞氮排放的排放係數，kg N<sub>2</sub>O-N / ha / 年  
 EF<sub>3PRP</sub> = 放牧牲畜排泄堆積在草場、牧場和圍場上所引起的 N<sub>2</sub>O 排放的排放係數，kg N<sub>2</sub>O-N / kg N

由於，臺灣土壤有機質含量大於 20% 之比例低，與放牧畜養方式鮮少且無相關活動數據，故 N<sub>2</sub>O-N<sub>OS</sub>、N<sub>2</sub>O-N<sub>PRP</sub> 此兩項不列入計算。

N<sub>2</sub>O-N 排放換算為氧化亞氮排放的計算公式如公式 5.5.2。

公式 5.5.2 N<sub>2</sub>O-N 排放換算為氧化亞氮排放公式

$$\text{氧化亞氮排放量} = N_2O-N \times 44/28$$

臺灣農業土壤中施用氮素，包括化學肥料的施用氮含量、來自動物糞肥或堆肥之有機氮含量、作物殘體量所施用的氮含量等。以下進一步說明各項來源排放氮含量之計算。

<sup>31</sup> 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，行政院農業委員會農業試驗所，121:43-62，2005。

### A. 每年施用於土壤的化肥氮含量 ( $F_{SN}$ )

即計算農地化學氮肥的施用量，化學氮肥總用量引用農業統計年報。因 2006 IPCC 清冊指南中，在氮肥施用產生之氧化亞氮排放區分水旱田，故需區分水旱田氮肥施用量。在農委會農糧署「稻穀生產成本調查報告」中，有臺灣各縣市水稻生產之化學與有機肥料施用調查資料。故引用報告中各期作平均氮肥施用量作為水田施氮含量估算。其中，水田施氮含量資料係由農糧署直接提供，因此水田總施氮肥施用量為 1、2 期作單位面積施氮含量乘以水稻種植面積而得。旱作氮肥施用量則由全國總化肥施氮含量扣除水稻氮肥施用量而得。

### B. 每年施用於土壤的有機肥氮含量 ( $F_{ON}$ )

施用的有機氮肥 ( $F_{ON}$ ) 係指土壤有機氮投入的量，使用公式 5.5.3 進行計算，包括施用到土壤中的禽畜糞、廢水污泥、堆肥與農產加工產生之廢棄物等。有關農業有機廢棄物，臺灣一般製成堆肥或直接施用於田間；而污泥、廢水部分，目前農、畜牧等相關產業的污泥或廢水多經處理後，直接排放於地面水體或以廢棄物處理，再利用於農地量少且未有統計資料，故未計算。

#### 公式 5.5.3 施用到土壤的有機肥氮含量

$$F_{ON} = (F_{AM} + F_{SEW} + F_{COMP} + F_{OOA}) \times 0.78 \times 2.4\%$$

$F_{ON}$  = 每年施用到土壤中的有機肥氮總量（不含放牧牲畜），公噸 N/年

$F_{AM}$  = 每年施用到土壤中的牲畜糞肥量，公噸/年

$F_{SEW}$  = 每年施用到土壤中的污泥、廢水總量，公噸/年

$F_{COMP}$  = 每年施用到土壤中的堆肥總量，公噸/年

$F_{OOA}$  = 每年施用到土壤中的其它有機添加物的量，公噸/年

0.78<sup>32</sup> = 乾物比。

2.4%<sup>33,34</sup> = 有機氮肥之氮含量。

在 1990 至 2000 年， $F_{ON}$  為農委會農業統計年報中「堆肥」( $F_{COMP}$ ) 與「禽畜糞」( $F_{AM}$ ) 之總和，分別指菇類堆肥、廐肥與禽畜糞等；2001 年後農業統計年報則不再記錄禽畜糞與堆肥等有機肥施用量，轉記錄於綠色國民所得帳， $F_{ON}$  則引用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」( $F_{COMP}$ ) 與「禽畜舍墊料」( $F_{OOA}$ ) 之總和，分別包含菇包、禽畜糞、蔬果殘渣等項目與稻穀等項目。各年度加總後，乘乾物比 0.78<sup>31</sup> 再乘以氮含量 2.4%<sup>32,33</sup> (0.4 至 4%)，代表施用的有機氮肥 ( $F_{ON}$ )。

### C. 每年作物殘體氮含量 (FCR)

本項計算回歸土壤的作物殘體中的氮含量，係從地上或地下部殘體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體占產量比例、更新時間和氮含量均不同，應分別計算主要作物類型的殘體氮含量，然後總和所有作物類型的氮含量。IPCC 2006 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，大麥等）；(2) 固氮穀物和豆類（例如大豆，乾豆，鷹嘴豆，扁豆等）；(3) 根莖作物（例如，馬鈴薯，甜薯，木薯等）；(4) 固氮牧草作物（苜蓿，三葉草等）及 (5) 其它牧草。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。各作物換算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。

臺灣的農業殘體焚燒主要是以稻藁為主，其他如豆類、玉米、甘蔗等殘體之焚燒量極少，故設定為零；稻藁使用流向，在行政院主計總處綠色國民所得帳皆有統計資料，包含作為堆肥或墊料等，故對於本項作物殘體之估算，以活動數據—稻藁就地掩埋量計算。其餘作物殘體掩埋估算中，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，三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更新頻率為三年。我國田間綠肥皆有直接之活動數據，不再做殘體比例換算。各作物殘體量計算式如下：

#### 公式 5.5.4 本土作物殘體氮含量

$$F_{CR-rice} = (Rice_{res} \times N_{rice})$$

$$F_{CR-i} = (Crop_i \times Dry_i \times R_{AGi} \times N_{AGi})$$

$$F_{CR-GFi} = (GF_i \times N_{GFi})$$

$$F_{CR-grass} = (Crop_i \times Dry_i \times R_{AGi} \times N_{AGi}) \times 1/3$$

$F_{CR-rice}$  = 水稻殘體掩埋氮含量，公噸 N/年

$Rice_{res}$  = 水稻殘體掩埋量，公噸/年

$N_{rice}$  = 水稻殘體氮含量，公噸 N/公噸

$F_{CR-i}$  = 作物類別 i 殘體氮含量，公噸 N/年

$Crop_i$  = 作物類別 i 總產量，公噸/年

$Dry_i$  = 作物類別 i 乾物比

$R_{AGi}$  = 作物類別 i 殘體比

$N_{AGi}$  = 作物類別 i 氮含量，公噸 N/公噸

$F_{CR-GFi}$  = 綠肥 i 殘體氮含量，公噸 N/年

$GF_i$  = 綠肥 i 總產量，公噸/年

$N_{GFi}$  = 綠肥殘體氮含量，公噸 N/公噸

$F_{CR-grass}$  = 牧草殘體氮含量，公噸 N/年

<sup>32</sup> 陳仁炫，有機質肥料的檢測與成分分析結果之解析，有機質肥料之特性與管理研習會專刊，p. 58-67，國立中興大學土壤調查試驗中心編印，2003。

<sup>33</sup> 行政院農業委員會，肥料要覽，2001。

<sup>34</sup> 行政院農業委員會農糧署，作物施肥手冊，2003。

#### D. 土地利用變化或管理作法 ( $F_{SOM}$ ) 引起的礦質土壤有機碳損失所導致的氮礦化量

$F_{SOM}$  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氮的礦化量，土地利用變化和管理皆會對土壤有機碳儲量造成重要影響。當土壤碳因氧化而損失時，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 (郭等, 1995<sup>35</sup>; 譚等, 2005<sup>36</sup>; 譚與陳, 2011<sup>37</sup>)，因此假設長期維持農業土壤中的氮礦化量變化為零，不估算。

##### (2) 排放係數

排放係數主要引用 2006 IPCC 氧化亞氮排放相關預設值，部分活動數據轉換係數則使用本土係數，如表 5.5.1。

##### (3) 活動數據

#### A. 施用的化學肥料氮含量 (Synthetic Fertilizers, $F_{SN}$ )

依據農委會之農業統計年報，化學肥料的項目包括硫酸銨、尿素、硝酸銨鈣、複合肥料 (平均氮含量 17.3%，農糧署公務統計<sup>42</sup>) 四項。如表 5.5.2。

##### a. 水、旱田施氮含量

本項計算農地化學氮肥的施用量，化學氮肥總用量引用農業統計年報。有關水、旱田氮肥施用量，引自農糧署「稻穀生產成本調查報告」中臺灣各縣市水稻生產

之化學與有機肥料施用調查，以每期報告中各期作平均氮肥施用量作為水稻田單位面積施氮含量估算，水稻田總施氮肥施用量為 1、2 期作耕作面積乘以各期水稻單位面積施氮含量而得；旱作氮肥施用量則由全國總化肥氮含量扣除水稻氮肥施用量取得。如表 5.5.3。

#### B. 施用的有機肥氮含量

臺灣施用有機氮肥之活動數據係採用農委會之農業統計年報與行政院主計總處之綠色國民所得帳活動數據，如表 5.5.5。

#### C. 農作物殘體氮含量 (Crop Residue, FCR)

依臺灣主要作物型態與統計資料將作物殘體分類為：

- (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 (包含落花生、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 (包含田菁、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。

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，鮮物為作物未完熟時收穫或水分含量 70% 以上。以本土相關研究與預設係數，修正或選擇適當乾物比、作物殘體比和氮含量，來估算估算作物殘體氮含量，如表 5.5.6 所示。

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 <sup>38</sup>	本土值	不確定性範圍
施用化學氮肥、有機肥和作物殘體以及土壤碳損失引起的礦質土壤中氮礦化的排放係數 ( $EF_1, \text{kg N}_2\text{O-N} / \text{kg N}$ )	0.01		0.003 - 0.03
水稻田的排放係數 ( $EF_{1FR}, \text{kg N}_2\text{O-N} / \text{kg N}$ )	0.003		0.000 - 0.006
放牧牲畜排泄堆積在草場、牧場和圍場上所引起的 $\text{N}_2\text{O}$ 排放的排放係數 ( $EF_{3PRP}, \text{kg N}_2\text{O-N} / \text{kg N}$ )	0.01		0.003 - 0.03
水稻田施氮肥量 ( $\text{kg-N} / \text{ha}$ )		參照表 5.5.4	
有機肥 (堆肥、禽畜糞肥) 乾物比 <sup>39</sup>		0.78	±10%
有機肥 (堆肥、禽畜糞肥) 中氮含量 (%) <sup>40,41</sup>		2.4%	0.5 - 4%
植物殘體比率與氮含量		參照表 5.5.6	

<sup>35</sup> 郭鴻裕、朱戩良、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，行政院農業委員會農業試驗所，1995。

<sup>36</sup> 同註 30。

<sup>37</sup> 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)：115-124，2011。

<sup>38</sup> IPCC, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 11:  $\text{N}_2\text{O}$  Emissions from Managed Soils, and  $\text{CO}_2$  Emissions from Lime and Urea Application, 2006.

<sup>39</sup> 同註 31。

<sup>40</sup> 同註 32。

<sup>41</sup> 同註 33。

<sup>42</sup> 行政院農業委員會農糧署。農糧統計\公務統計\臺灣地區肥料產銷量值，<http://www.afa.gov.tw/>，2016。

表 5.5.2 臺灣 1990 至 2016 年化學肥料施用量與施氮含量<sup>43</sup>

(單位：公噸)

年份	硫酸銨	尿素	硝酸銨鈣	複合肥料	施用氮含量
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
2013	122,277	61,856	166	713,367	177,578
2014	126,619	54,399	176	707,584	174,061
2015	108,013	51,211	252	710,494	169,206
2016	102,071	45,995	365	746,995	171,896

備註：各肥料氮含量：硫酸銨：21%；尿素：46%；硝酸銨鈣：20%；複合肥料：17.3%，引自農糧署統計資料<sup>41</sup>

表 5.5.3 臺灣 1990 至 2016 年水稻田單位面積化學氮肥施用量

(單位：kg-N/ha)

年份	期作	一期作		二期作	
		施用量	範圍	施用量	範圍
1990		155	128~173	162	140~189
1991		155	128~173	162	140~189
1992		164	131~184	162	135~187
1993		160	142~451	162	126~185
1994		164	128~191	173	128~203
1995		174	137~752	180	143~199
1996		174	128~191	180	132~203
1997		176	147~196	184	142~201
1998		179	136~215	186	151~210
1999		177	132~194	188	138~219
2000		189	138~220	154	61~203
2001		186	138~228	197	136~225
2002		189	145~218	197	156~231
2003		190	143~221	200	147~245
2004		189	135~238	206	141~239
2005		191	132~235	203	159~251
2006		192	136~240	198	149~247
2007		190	130~240	198	156~239
2008		194	133~237	200	145~245
2009		191	132~240	210	157~260
2010		202	132~255	201	127~243
2011		200	123~255	203	131~247
2012		200	124~257	199	123~240
2013		193	124~247	200	131~255
2014		195	117~260	203	119~257
2015		196	113~226	205	118~272
2016		190	110~264	192	128~254

<sup>43</sup> 同註 24。

表 5.5.4 臺灣 1990 至 2016 年水稻田耕作面積與施肥量估算

年份	水稻 1 期作		水稻 2 期作		水稻田施氮含量 (公噸)	旱田施氮含量 (公噸)
	面積 (ha)	施氮含量 (kg-N/ha)	面積 (ha)	施氮含量 (kg-N/ha)		
1990	242,298	155	211,968	162	71,852	181,150
1991	227,417	155	201,385	162	67,834	200,006
1992	209,474	164	187,676	162	64,750	193,745
1993	211,790	160	179,137	162	63,006	199,245
1994	196,317	164	169,520	173	61,545	202,372
1995	197,571	174	165,908	180	64,188	205,307
1996	182,807	174	164,955	180	61,463	212,851
1997	202,010	176	162,202	184	65,285	171,626
1998	201,424	179	156,263	186	65,165	165,157
1999	197,123	177	155,942	188	64,074	159,058
2000	195,055	189	144,546	154	59,020	186,501
2001	188,553	186	143,066	197	63,379	169,719
2002	177,884	189	128,956	197	59,029	168,754
2003	161,184	190	110,940	200	52,809	147,480
2004	135,314	189	101,701	206	46,590	167,808
2005	158,452	191	110,571	203	52,778	148,051
2006	155,248	192	107,940	198	51,169	150,860
2007	155,459	190	104,657	198	50,279	148,653
2008	148,333	194	103,959	200	49,589	133,940
2009	151,338	191	103,252	210	50,535	138,273
2010	139,941	202	103,922	201	49,155	137,066
2011	153,405	200	100,849	203	51,190	128,372
2012	156,662	200	104,101	199	52,005	130,408
2013	162,869	193	107,296	200	52,887	124,691
2014	166,602	195	104,449	203	53,647	120,413
2015	146,597	196	105,264	205	50,312	118,894
2016	168,872	190	104,965	192	52,239	119,657

表 5.5.5 臺灣 1990 至 2016 年禽畜糞肥料施用量與施氮含量

(單位：公噸)

年份	農業統計年報		綠色國民所得帳		總氮含量
	堆肥	禽畜糞	禽畜舍墊料	堆肥	
1990	1,313,766	1,760,166	-	-	57,544
1991	1,072,602	1,421,175	-	-	46,684
1992	921,678	1,332,571	-	-	42,200
1993	892,081	1,371,916	-	-	42,382
1994	661,707	1,315,837	-	-	37,020
1995	716,149	1,014,988	-	-	32,407
1996	643,926	1,030,476	-	-	31,345
1997	582,307	1,463,448	-	-	38,297
1998	484,676	1,098,550	-	-	29,638
1999	460,038	1,135,045	-	-	29,860
2000	737,897	1,181,344	-	-	35,928
2001	532,671	1,025,764	90,000	2,031,489	39,714
2002	526,209	584,855	85,000	2,152,062	41,878
2003	479,046	547,218	81,000	2,212,500	42,934
2004	-	-	71,680	2,205,188	42,623
2005	-	-	73,357	2,302,694	44,480
2006	-	-	77,902	2,366,029	45,750
2007	-	-	68,173	2,393,084	46,075
2008	-	-	72,858	2,465,486	47,518
2009	-	-	78,909	2,453,827	47,413
2010	-	-	72,551	2,455,770	47,330
2011	-	-	83,313	2,329,480	45,167
2012	-	-	85,011	2,449,779	47,451
2013	-	-	74,498	2,369,100	45,744
2014	-	-	86,611	2,506,422	48,542
2015	-	-	79,087	2,478,153	47,872
2016	-	-	79,389	2,447,638	47,306

備註：1990-2000 年引用農業統計年報<sup>45</sup>中的堆肥與禽畜糞。2001 年後引用綠色國民所得帳報告<sup>46</sup>中的堆肥與禽畜舍墊料。

<sup>45</sup> 同註 24。

<sup>46</sup> 行政院主計處，綠色國民所得帳編製報告，2015。

臺灣田間綠肥皆有其產量統計，且多為直接翻耕入田中，不再做殘體比例換算。2001 年後水稻掩埋殘體之活動數據源自綠色國民所得帳值，1990 至 2000 年利用水稻總產量推估水稻「就地翻耕掩埋」之值。農作物殘體掩埋量如表 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% 以上僅佔全國農地面積約 8% (郭等, 1995<sup>60</sup>; 譚等, 2005<sup>61</sup>)，一般耕地土壤有機質未達表土有機質含量大於 20% 之有機質土標準，故不列入計算。

#### (4) 排放量

臺灣 1990 至 2016 年農業土壤直接氧化亞氮排放總量，如表 5.5.10 所示。農業土壤的氧化亞氮直接排放主

要反應農地氮肥施用量及作物殘體氮含量等影響，2016 年與 1990 年相比，農業土壤的氧化亞氮直接排放約減少 28%。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；但因農業活動衰減、合理化施肥推廣等，施氮總量逐年減少情況下，農業土壤直接氧化亞氮排放總量亦呈現逐年遞減趨勢。

#### (5) 完整性

對於化學肥料施用之活動數據，依據農糧署統計<sup>62</sup>資料部分年份有施用氰氮化鈣，比例低於總施氮含量之 0.1%，且非各年份有施用資料，故略過未計算，「其他化學肥料」項目因無法確認氮素比例，亦略過未計算。

表 5.5.6 估算作物殘體投入土壤的氮含量的設定係數

分類	細項	乾物比	收穫指數	殘體比	氮含量	係數來源
非固氮作物	水稻 (乾物)	0.89	38	1.65	0.007	IPCC, 2006 <sup>47</sup>
	玉米 (乾物)		53	0.89		Wang 等, 1986 <sup>48</sup>
	玉米 (乾物)	0.88	41	1.38	0.006	IPCC, 2006 <sup>46</sup>
	玉米 (鮮物)	0.22	36	1.74		
	高粱 (乾物)	0.89	43	1.35	0.007	
	穀物 (乾物)	0.88	39	1.53	0.006	
	設定值 (乾物)	0.88		1.53	0.007	
	設定值 (鮮物)	0.22		1.53	0.008	
固氮作物	紅豆 (乾物)		60~65	0.66~0.54		李銘全等, 1999 <sup>49</sup>
	大豆 (乾物)		39	1.56		林順福等, 1991 <sup>50</sup>
	花生 (乾物)		47±5	1.12		黃勝忠和宋勤, 1995 <sup>51</sup>
	花生 (乾物)	0.94	37	1.68	0.016	IPCC, 2006 <sup>46</sup>
	大豆 (乾物)	0.91	33	1.99	0.008	
	豆類 (乾物)	0.91	35	1.83	0.008	
	設定值 (乾物)	0.91		1.83	0.008	
	設定值 (鮮物)	0.22		1.83	0.016	
根莖類	水芋 (鮮物)		70±20	0.43		呂秀英等, 1999 <sup>52</sup>
	甘藷 (鮮物)		80±30	0.25		賴永昌等, 1996 <sup>53</sup>
	塊莖類 (鮮物)	0.22	71	0.41	0.019	IPCC, 2006 <sup>46</sup>
	塊根 (鮮物)	0.22	38	1.67	0.016	
	馬鈴薯 (鮮物)	0.22	73	0.36	0.014	
	設定值 (鮮物)	0.22		0.41	0.016	
綠肥	固氮綠肥 (鮮物)				0.0048	農委會, 2001 <sup>54</sup>
	非固氮綠肥 (鮮物)				0.0021	
牧草	非固氮牧草 (鮮物)	0.22	65	0.46	0.015	IPCC, 2006 <sup>46</sup>

備註：1. 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。

2. 乾物：完熟期才收穫之作物或收穫物水分含量 20% 以下。

3. 因 IPCC 預設部分作物乾物比不符合臺灣實際作物型態，乾物比以 0.22 取代。對於乾物之乾物比、鮮物之乾物比、殘體比和殘體氮濃度之不確定性，分別設為 10%、20%、50% 和 50%。

<sup>47</sup> 同註 37。

<sup>48</sup> 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. China. 35(4). 437~448, 1986.

<sup>49</sup> 李銘全、許秋玫、林順臺、洪阿田，不同氮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，10(2): 22-31, 1999。

<sup>50</sup> 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。40(3): 305-314, 1991。

<sup>51</sup> 黃勝忠、宋勤，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。

<sup>52</sup> 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，48(2): 86-99, 1999。

<sup>53</sup> 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。

<sup>54</sup> 同註 32。

<sup>60</sup> 同註 34。

<sup>61</sup> 同註 30。

<sup>62</sup> 同註 41。

此外，目前未計算進口的動植物有機質肥料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），統計來源為農糧署，但目前可取得公佈資料僅追溯自 2005 年，又無法以其它統計資料推估，且估計約占總農地施氮含量 0.1% 以下，故未計入。

根據國內資料（有機農業全球資訊網）<sup>63</sup>，國內有機水稻耕作面積，由 1996 年至 2016 年分別為 62 公頃至 1,853 公頃，以每年每公頃 20 噸有機肥施用量（農糧署，2003）<sup>64</sup> 估算，估計水稻田有機氮肥施用量約 33 至 1,001 公噸氮，僅佔總有機氮肥施用量比例 0.5 % 以下，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，殘體比例低，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則假設收穫量等於作物生質量而無殘體。

### 3. 不確定性與時間序列的一致性

#### (1) 不確定性

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佈，依據 IPCC 指南建議<sup>65</sup> 以蒙地卡羅方法進行不確定性評估。因此農地直接氧化亞氮排放不確定性，利用 SimuAr 軟體以蒙地卡羅方法進行評估，活動數據使用 2016 年數值，其不確定性範圍如表 5.5.11

表 5.5.7 臺灣 1990 至 2016 年各類作物產量

(單位：公噸)

作物 產量類別	水稻	非固氮穀物作物 (不含水稻)	其他非固氮 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	2,283,670	391,734	110,891	87,890	118,121	749,570	103,742	50,224	767,559
1991	2,311,638	384,372	107,002	102,822	120,206	803,868	234,976	64,614	735,584
1992	2,069,880	402,851	102,131	93,422	124,514	835,480	536,647	127,131	717,858
1993	2,232,933	405,914	119,605	97,896	120,634	766,306	571,524	152,033	701,374
1994	2,061,403	406,194	103,669	102,115	106,562	743,487	824,816	239,460	736,672
1995	2,071,968	368,919	111,228	110,824	116,005	822,151	641,590	264,105	711,539
1996	1,930,897	342,670	122,890	100,911	107,258	922,848	770,255	294,043	695,690
1997	2,041,843	280,121	118,242	99,320	126,588	870,313	643,611	433,462	626,016
1998	1,859,157	166,593	123,460	79,054	110,289	766,680	1,045,798	494,606	600,649
1999	1,916,305	124,874	112,201	75,750	103,834	928,702	1,402,521	632,189	640,543
2000	1,906,057	102,076	105,643	86,368	114,090	874,767	1,886,716	520,736	1,016,120
2001	1,723,895	83,795	106,772	60,650	112,936	791,882	2,101,026	524,603	946,400
2002	1,803,187	80,808	128,685	85,093	106,719	858,133	2,314,157	518,055	964,017
2003	1,648,275	73,679	114,775	81,192	107,003	795,486	2,941,530	519,672	910,941
2004	1,433,611	60,946	98,666	75,040	108,411	792,657	3,639,272	440,694	934,921
2005	1,467,138	52,610	91,653	59,012	83,619	804,854	2,971,343	278,669	843,162
2006	1,558,048	44,680	91,075	79,579	83,995	798,889	3,104,918	307,805	913,929
2007	1,363,458	41,041	84,985	58,089	66,062	760,419	2,868,136	298,286	769,152
2008	1,457,175	42,367	80,807	62,229	63,238	805,803	2,930,537	300,816	758,441
2009	1,578,169	49,624	87,579	65,710	71,113	799,867	2,941,525	310,196	834,041
2010	1,451,011	46,882	81,237	73,933	70,941	804,492	2,820,769	323,560	792,321
2011	1,666,273	44,889	88,135	79,833	88,263	820,707	2,646,966	336,126	780,373
2012	1,700,229	42,471	75,359	67,702	87,783	744,100	2,516,421	241,156	769,735
2013	1,589,564	50,219	93,465	59,546	84,280	776,787	1,923,807	163,751	904,750
2014	1,732,210	75,166	103,608	81,455	77,934	841,809	1,579,000	218,181	940,785
2015	1,581,732	82,787	96,613	77,573	76,347	791,409	1,513,280	185,848	893,341
2016	1,587,776	73,910	99,750	76,885	76,091	774,342	1,120,240	149,561	894,605

備註：資料由農委會之農業統計年報<sup>55</sup> 彙整而來，各項分類作物所含作物種類如下：

1. 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。
2. 其他非固氮穀物作物 (鮮物)：食用玉米。
3. 固氮作物 (乾物)：落花生、紅豆、大豆等。
4. 固氮作物 (鮮物)：菜豆、豌豆、毛豆等。
5. 根莖作物 (鮮物)：甘藷、蘿蔔、胡蘿蔔、其他根菜類、蔥、蒜等。
6. 固氮綠肥 (鮮物)：田菁、大豆、富貴豆、太陽麻、鐵虎豆、埃及三葉草、青皮豆等。
7. 非固氮綠肥 (鮮物)：油菜、其他單播 (大菜約佔半數)、混播等。
8. 非固氮牧草 (鮮物)：盤固拉草、狼尾草、其他牧草等。

<sup>55</sup> 同註 24。

<sup>63</sup> 有機農業全球資訊網。http://info.organic.org.tw/supergood/front/bin/home.phtml, 2016。

<sup>64</sup> 同註 33。

<sup>65</sup> IPCC, Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Volume 1 General Guidance and Reporting, Chapter 3. Uncertainties, 2006.

所示。 $N_2O - N$  換算為氧化亞氮之 44/28 值為固定值。暖化潛勢 (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，評估結果如表 5.5.11 所示，農業土壤的氧化亞氮直接排放之不確定性為 -25% ~ 127%。

## (2) 時間序列的一致性：

農業土壤氧化亞氮間接排放之活動數據，例如禽畜糞肥料用量及就地翻耕掩埋量中為不連續資料。1990 至 2000 年之禽畜糞肥料用量係引用農委會之農業統計年報中堆肥加禽畜糞之合計用量，2001 年後則使用行政院主

計總處綠色國民所得帳堆肥加禽畜舍墊料之合計用量，兩者在 2001 年到 2003 年間有重複，但差異大。禽畜糞等為主要有機氮肥來源，2001 至 2003 年間禽畜總頭數量未有較大變化，以行政院主計總處綠色國民所得帳「禽畜舍墊料」與「堆肥」總合之期間變化較符合實際畜牧變化狀況而使用。作物殘體之水稻就地翻耕掩埋量中，2001 年後引自行政院主計總處綠色國民所得帳值，其餘年利用 2001 至 2010 年水稻產量線性迴歸 ( $R^2=0.78$ )，推估水稻「就地翻耕掩埋」值。其餘引自農委會農業統計年報之活動數據，在時間序列上具一致性。

表 5.5.8 臺灣 1990 至 2016 年各類作物殘體量

(單位：公噸)

作物 產量類別	水稻殘體	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	1,818,426	527,431	37,326	146,363	47,556	67,611	103,742	50,224	25,892
1991	1,841,201	517,518	36,017	171,229	48,395	72,509	234,976	64,614	24,814
1992	1,644,337	542,399	34,377	155,576	50,129	75,360	536,647	127,131	24,216
1993	1,777,111	546,523	40,259	163,026	48,567	69,121	571,524	152,033	23,660
1994	1,637,434	546,900	34,895	170,052	42,902	67,063	824,816	239,460	24,850
1995	1,646,038	496,713	37,439	184,555	46,704	74,158	641,590	264,105	24,003
1996	1,531,163	461,371	41,365	168,047	43,182	83,241	770,255	294,043	23,468
1997	1,621,507	377,155	39,800	165,398	50,964	78,502	643,611	433,462	21,118
1998	1,472,746	224,301	41,557	131,649	44,402	69,155	1,045,798	494,606	20,262
1999	1,519,281	168,130	37,767	126,146	41,804	83,769	1,402,521	632,189	21,608
2000	1,510,936	137,435	35,559	143,829	45,933	78,904	1,886,716	520,736	34,277
2001	1,300,000	112,821	35,940	101,000	45,468	71,428	2,101,026	524,603	31,925
2002	1,460,000	108,800	43,315	141,705	42,965	77,404	2,314,157	518,055	32,520
2003	1,369,000	99,202	38,633	135,209	43,080	71,753	2,941,530	519,672	30,729
2004	1,175,561	82,058	33,211	124,964	43,646	71,498	3,639,272	440,694	31,538
2005	1,203,054	70,834	30,850	98,272	33,665	72,598	2,971,343	278,669	28,443
2006	1,277,599	60,157	30,656	132,523	33,816	72,060	3,104,918	307,805	30,830
2007	1,094,856	55,258	28,606	96,735	26,596	68,590	2,868,136	298,286	25,946
2008	1,078,224	57,043	27,200	103,631	25,460	72,683	2,930,537	300,816	25,585
2009	1,161,635	66,814	29,479	109,427	28,630	72,148	2,941,525	310,196	28,135
2010	1,077,472	63,122	27,345	123,121	28,561	72,565	2,820,769	323,560	26,728
2011	1,229,070	60,438	29,666	132,946	35,535	74,028	2,646,966	336,126	26,325
2012	1,336,537	57,183	25,366	112,745	35,341	67,118	2,516,421	241,156	25,966
2013	1,240,134	67,615	31,460	99,162	33,931	70,066	1,923,807	163,751	30,520
2014	1,351,423	101,204	34,875	135,647	31,376	75,931	1,579,000	218,181	31,736
2015	1,228,058	111,464	32,520	129,182	30,737	71,385	1,513,280	185,848	30,135
2016	1,266,132	99,512	33,576	128,037	30,634	69,846	1,120,240	149,561	30,178

備註：資料由農委會之農業統計年報<sup>56</sup>彙整而來，各項分類作物所含作物種類如下：

1. 水稻殘體量，2001 年後引自綠色國民所得帳<sup>57</sup>，1990-2000 年利用水稻總產量推估水稻「就地翻耕掩埋」之值。
2. 除水稻殘體外，資料引自農業統計年報<sup>58</sup>。
3. 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。
4. 其他非固氮穀物作物 (鮮物)：食用玉米。
5. 固氮作物 (乾物)：落花生、紅豆、大豆等。
6. 固氮作物 (鮮物)：菜豆、豌豆、毛豆等。
7. 根莖作物 (鮮物)：甘藷、蘿蔔、胡蘿蔔、其他根菜類、蔥、蒜等。
8. 固氮綠肥 (鮮物)：田菁、大豆、富貴豆、太陽麻、鐵虎豆、埃及三葉草、青皮豆等。
9. 非固氮綠肥 (鮮物)：油菜、其他單播 (大菜約佔半數)、混播等。
10. 非固氮牧草 (鮮物)：盤固拉草、狼尾草、其他牧草等。

<sup>56</sup> 同註 24。

<sup>57</sup> 同註 45。

<sup>58</sup> 同註 24。



表 5.5.9 臺灣 1990 至 2016 年各類作物殘體氮含量

(單位：公噸氮)

作物 產量類別	水稻掩埋殘體	非固氮穀物作物 (不含水稻) 乾物	非固氮穀物 作物 鮮物	固氮作物		根莖作物 鮮物	固氮綠肥 鮮物	非固氮綠肥 鮮物	非固氮牧草 鮮物	作物總殘體
				乾物	鮮物					
1990	12,729	3,692	299	1,171	761	1,082	498	105	388	18,416
1991	12,888	3,623	288	1,370	774	1,160	1,128	136	372	18,917
1992	11,510	3,797	275	1,245	802	1,206	2,576	267	363	20,126
1993	12,440	3,826	322	1,304	777	1,106	2,743	319	355	20,289
1994	11,462	3,828	279	1,360	686	1,073	3,959	503	373	21,422
1995	11,522	3,477	300	1,476	747	1,187	3,080	555	360	20,600
1996	10,718	3,230	331	1,344	691	1,332	3,697	617	352	20,963
1997	11,351	2,640	318	1,323	815	1,256	3,089	910	317	19,606
1998	10,309	1,570	332	1,053	710	1,106	5,020	1,039	304	19,715
1999	10,635	1,177	302	1,009	669	1,340	6,732	1,328	324	21,244
2000	10,577	962	284	1,151	735	1,262	9,056	1,094	514	23,181
2001	9,100	790	288	808	727	1,143	10,085	1,102	479	24,521
2002	10,220	762	347	1,134	687	1,238	11,108	1,088	488	27,071
2003	9,583	694	309	1,082	689	1,148	14,119	1,091	461	29,177
2004	8,229	574	266	1,000	698	1,144	17,469	925	473	30,778
2005	8,421	496	247	786	539	1,162	14,262	585	427	26,925
2006	8,943	421	245	1,060	541	1,153	14,904	646	462	28,376
2007	7,664	387	229	774	426	1,097	13,767	626	389	25,359
2008	7,548	399	218	829	407	1,163	14,067	632	384	25,646
2009	8,131	468	236	875	458	1,154	14,119	651	422	26,516
2010	7,542	442	219	985	457	1,161	13,540	679	401	25,426
2011	8,603	423	237	1,064	569	1,184	12,705	706	395	25,887
2012	9,356	400	203	902	565	1,074	12,079	506	389	25,475
2013	8,681	473	252	793	543	1,121	9,234	344	458	21,899
2014	9,460	708	279	1,085	502	1,215	7,579	458	476	21,763
2015	8,596	780	260	1,033	492	1,142	7,264	390	452	20,410
2016	8,863	697	269	1,024	490	1,118	5,377	314	453	18,604

備註：資料由農委會之農業統計年報<sup>59</sup>彙整而來，各項分類作物所含作物種類如下：

1. 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。
2. 其他非固氮穀物作物(鮮物)：食用玉米。
3. 固氮作物(乾物)：落花生、紅豆、大豆等。
4. 固氮作物(鮮物)：菜豆、豌豆、毛豆等。
5. 根莖作物(鮮物)：甘藷、蘿蔔、胡蘿蔔、其他根菜類、蔥、蒜等。
6. 固氮綠肥(鮮物)：田菁、大豆、富貴豆、太陽麻、鐵虎豆、埃及三葉草、青皮豆等。
7. 非固氮綠肥(鮮物)：油菜、其他單播(大菜約佔半數)、混播等。
8. 非固氮牧草(鮮物)：盤固拉草、狼尾草、其他牧草等。

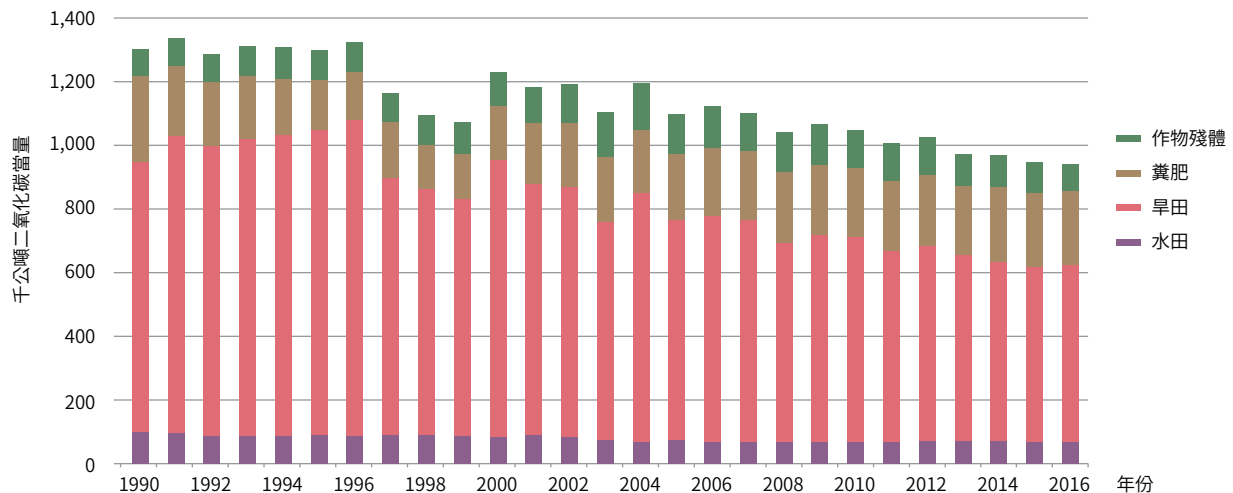


圖 5.5.1 臺灣 1990 至 2016 年農業土壤直接氧化亞氮排放趨勢

<sup>59</sup> 同註 24。

表 5.5.10 臺灣 1990 至 2016 年農業土壤直接氧化亞氮排放量

(單位：千公噸二氧化碳)

年份	化肥		有機氮肥	作物殘體	合計排放量
	水稻田	旱田			
1990	100.94	848.30	269.47	97.05	1,315.77
1991	95.30	936.60	218.61	101.80	1,352.31
1992	90.96	907.28	197.61	103.21	1,299.07
1993	88.51	933.04	198.47	108.61	1,328.63
1994	86.46	947.68	173.36	110.16	1,317.66
1995	90.18	961.42	151.76	106.32	1,309.67
1996	86.35	996.75	146.78	104.49	1,334.37
1997	91.72	803.70	179.34	103.12	1,177.87
1998	91.55	773.41	138.79	100.42	1,104.16
1999	90.02	744.85	139.83	110.12	1,084.82
2000	82.91	873.36	168.25	120.05	1,244.56
2001	89.04	794.77	185.98	114.83	1,184.61
2002	82.93	790.25	196.11	126.77	1,196.06
2003	74.19	690.63	201.06	136.63	1,102.50
2004	65.45	785.82	199.60	144.13	1,195.00
2005	74.15	693.30	208.29	126.08	1,101.82
2006	71.89	706.45	214.24	132.88	1,125.46
2007	70.63	696.12	215.76	118.75	1,101.27
2008	69.66	627.22	222.52	120.10	1,039.50
2009	70.99	647.51	222.03	124.17	1,064.70
2010	69.06	641.86	221.64	119.07	1,051.62
2011	71.91	601.15	211.51	121.22	1,005.80
2012	73.06	610.68	222.21	119.30	1,025.24
2013	74.30	583.91	214.21	102.55	974.97
2014	75.37	563.88	227.31	101.91	968.47
2015	70.68	556.76	224.18	95.58	947.20
2016	73.39	560.34	221.53	87.12	942.37

表 5.5.11 農業土壤直接氧化亞氮排放係數、活動數據及不確定性

項目		2016 年 活動數據	轉換係數			氮投入量 (公噸 N)	排放係數 (kg N <sub>2</sub> O-N / kg N)	排放量 (千公噸二氧 化碳當量)
化學氮肥	水稻田	52,239 公噸氮 (-74% ~ 72%)				52,239 (-74% ~ 72%)	0.003 (0- 0.006)	73.39 (-88% ~ 135%)
	旱田	119,657 公噸氮 (±32%)				119,657 (±32%)		560.34 (-53% ~ 186%)
有機氮肥	堆肥	2,447,638 公噸 (±5%)	乾物比 0.78			47,306 (-61% ~ 49%)	0.01 (0.003 - 0.03)	221.53
	禽畜舍墊料	79,389 公噸 (±5%)	(-9% ~ 10%) 氮含量 2.7% (0.5%~4%)					(-64% ~ 210%)
作物殘體	作物殘體分類	殘體量 (公噸)	乾物比	殘體比 (±50%)	氮含量 (±50%)	殘體氮含量 (公噸 N)	0.01 (0.003 - 0.03)	87.12 (-52% ~ 176%)
	水稻	1,266,132 (±5%)	1 (±10%)	1	0.007	8,863(-66% ~ 76%)		
	非固氮穀 (乾物)	73,910 (±4%)	0.88 (±10%)	1.53	0.007	697(-63% ~ 82%)		
	物作物 (鮮物)	99,750 (±5%)	0.22 (±20%)	1.53	0.008	269(-60% ~ 81%)		
	固氮作物 (乾物)	76,885 (±4%)	0.91 (±10%)	1.83	0.008	1,024(-57% ~ 77%)		
	(鮮物)	76,091 (±4%)	0.22 (±20%)	1.83	0.016	490(-64% ~ 83%)		
	根莖類 (鮮物)	774,342 (±2%)	0.22 (±20%)	0.41	0.016	1,118(-61% ~ 82%)		
	固氮綠肥 (鮮物)	1,120,240 (±3%)	-	-	0.022	5,377(-63% ~ 80%)		
	非固氮綠肥 (鮮物)	149,561 (±4%)	-	-	0.048	314(-61% ~ 77%)		
	非固氮牧草 (鮮物)	894,605 (±5%)	0.22 (±20%)	0.46	0.015	453(-63% ~ 82%)		
小計					18,604(-38% ~ 42%)	942.37 (-25% ~ 127%)		

備註：資料由農委會之農業統計年報<sup>66</sup>彙整而來，作物殘體各項分類作物所含作物種類如下：

1. 非固氮穀物作物 (乾物)：飼料玉米、高粱、其他 - 雜糧、胡麻等。
2. 非固氮穀物作物 (鮮物)：食用玉米。
3. 固氮作物 (乾物)：落花生、紅豆、大豆等。
4. 固氮作物 (鮮物)：菜豆、豌豆、毛豆等。
5. 根莖作物 (鮮物)：甘藷、蘿蔔、胡蘿蔔、其他根菜類、蔥、蒜等。
6. 固氮綠肥 (鮮物)：田菁、大豆、富貴豆、太陽麻、鐵虎豆、埃及三葉草、青皮豆等。
7. 非固氮綠肥 (鮮物)：油菜、其他單播 (大菜約佔半數)、混播等。
8. 非固氮牧草 (鮮物)：盤固拉草、狼尾草、其他牧草等。

<sup>66</sup> 同註 23。

#### 4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

同章節 5.4 3.C 水稻種植之說明。

#### 5. 特定排放源的重新計算

無。

#### 6. 特定排放源的改善計畫

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 (kg N<sub>2</sub>O/ha) 與 IPCC 估算方法之氮肥使用排放係數 (kg N<sub>2</sub>O/kg N) 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，如施肥量等，故未直接引用；初步整理比較如表 5.5.12，本土係數均高於預設係數，但因調查基礎與估算方式不同，僅彙整做為參考。目前農委會農試所正進行以密閉罩法 (Chamber Method) 方式量測水田的氧化亞氮排放，預計於 2020 年底提出本土水田排放係數，未來再依田間量測數據提出旱作氧化亞氮排放係數，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

農業土壤中除了通過一種直接途徑的氧化亞氮直接排放（即土壤中的氮直接轉成氧化亞氮而排放），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化學氮肥和有機氮肥以氨和氮氧化物形式的氮揮散，經沉降後進入土壤和水體表面，再轉成氧化亞氮而排放。

第二種途徑為土壤的氮經淋洗和逕流，其來源包含化學氮肥和有機氮肥、作物殘體、礦質和有機質土壤中土地利用變化或管理作法引起的土壤碳損失相關的氮礦化。而上述 NH<sub>3</sub> 及 NO<sub>x</sub> 型態之氮在土壤、地下水中或表面水體中轉成氧化亞氮而排放。

#### 2. 方法論議題

##### (1) 計算方法

土壤氧化亞氮間接排放，因缺乏本土係數，故參考 IPCC 指南方法 1(Tier 1) 進行估算，並依臺灣農業耕作國情不同進行調整。

##### A. 揮散 (N<sub>2</sub>O<sub>(ATD)</sub>)

用公式 5.5.5 估算農業土壤中揮散氮經大氣沉降後再轉化的氧化亞氮排放：

公式 5.5.5 農業土壤中氮揮散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<sub>2</sub>O<sub>(ATD)</sub>-N = 每年農業土壤中揮散氮經大氣沉降後再轉化的 N<sub>2</sub>O-N 的量，公噸 N<sub>2</sub>O - N/ 年

F<sub>SN</sub> = 每年施用於土壤的化肥氮含量，公噸 N/ 年

Frac<sub>GASF</sub> = 以 NH<sub>3</sub> 和 NO<sub>x</sub> 形式揮散的化肥氮含量比例，kg 揮散氮 /kg 施用氮含量

F<sub>ON</sub> = 每年施用於土壤的有機肥氮含量，公噸 N/ 年

F<sub>PRP</sub> = 每年放牧牲畜排泄在草場、牧場和圍場上的糞尿氮含量，公噸 N/ 年

Frac<sub>GASM</sub> = 以 NH<sub>3</sub> 和 NO<sub>x</sub> 形式揮散的氮與施用的有機肥氮含量 (F<sub>ON</sub>) 和放牧牲畜排泄的尿液和糞便氮含量比例 (F<sub>PRP</sub>)，kg 揮散 N / (kg 施用和排泄的 N)

EF<sub>4</sub> = 氮揮散和再沉降後氮的 N<sub>2</sub>O 排放係數，kg N<sub>2</sub>O-N / kg 揮散的 NH<sub>3</sub>-N + NO<sub>x</sub>-N

表 5.5.12 農業土壤直接氧化亞氮之本土與預設排放係數

(單位：公噸)

排放源	排放係數或平均排放係數 (不確定性或範圍)			來源
	mg N <sub>2</sub> O/m <sup>2</sup> /h	g N <sub>2</sub> O/m <sup>2</sup>	kg N <sub>2</sub> O-N/kg N	
水稻田			0.003 (0.000 - 0.006)	IPCC,2006 <sup>67</sup>
旱田			0.01 (0.003 - 0.03)	
水稻田一期作	0.121(0.020~0.174)		0.020 <sup>a</sup> (0.0003~0.028)	Yang 等人，2003. <sup>68</sup>
水稻田二期作	0.048(0.001~0.105)		0.007 <sup>a</sup> (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 <sup>b</sup> (0.007~0.051)	
水果		1.14(0.56~2.23)	0.012 <sup>b</sup> (0.006~0.024)	
花卉		0.49(0.21~0.77)	0.008 <sup>b</sup> (0.003~0.012)	

備註：

1. 因排放係數差異，透過估計施肥量轉換為氮投入之排放量。

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

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

<sup>67</sup> 同註 36。

<sup>68</sup> 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.

## B. 淋洗 / 逕流 (N<sub>2</sub>O<sub>(L)</sub>)

以公式 5.5.6 估算淋洗和逕流中產生的間接氧化亞氮排放：

公式 5.5.6 農業土壤氮經淋洗 / 逕流產生的氧化亞氮排放

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

N<sub>2</sub>O(L)-N = 地區每年因土壤中氮淋洗和逕流產生的 N<sub>2</sub>O-N 的排放量，公噸 N<sub>2</sub>O-N / 年

F<sub>SN</sub> = 每年施用於土壤的化肥氮含量，公噸 N / 年

F<sub>ON</sub> = 每年施用於土壤的有機肥氮含量，公噸 N / 年

F<sub>PRP</sub> = 每年放牧牲畜排泄在草場、牧場和圍場上的糞尿氮含量，公噸 N / 年

F<sub>CR</sub> = 每年作物殘體氮含量，公噸 N / 年。

F<sub>SOM</sub> = 每年礦質土壤中因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，公噸 N / 年。

Frac<sub>LEACH-(H)</sub> = 農業土壤中通過淋洗和逕流所流失的氮含量佔總施用氮含量的比例，kgN / kg 投入的 N

EF<sub>5</sub> = 氮淋洗和逕流引起的 N<sub>2</sub>O 排放的排放係數，kg N<sub>2</sub>O-N / kg 揮散的 NH<sub>3</sub>-N + NO<sub>x</sub>-N

最後用公式 5.5.2 將 N<sub>2</sub>O<sub>(ATD)</sub>-N、N<sub>2</sub>O<sub>(L)</sub>-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、揮散和淋洗係數參照 2006 IPCC 指南預設值，如表 5.5.13 所示。

### (3) 活動數據

數據來源與施用的化肥氮含量 (F<sub>SN</sub>)、施用的有機氮肥氮含量 (F<sub>ON</sub>)、作物殘體氮含量 (F<sub>CR</sub>) 與氧化亞氮直接排放計算相同。

### (4) 排放量

臺灣 1990 至 2016 年農業土壤間接之氧化亞氮排放總量，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。2016 年揮散與淋洗 / 逕流產生之間接氧化亞氮排放量，相較於 1990 年皆約減少 28%。

### (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

### (1) 不確定性

#### A. 揮散

農業土壤間接氧化亞氮排放 - 揮散之計算由於涵蓋多筆活動數據，且排放係數為非常態分佈，依據 IPCC 指南建議以蒙地卡羅方法進行不確定性評估。因此農地間接氧化亞氮排放 - 揮散不確定性利用 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、殘體比、氮含量皆設為常態分佈 (輸入均值、標準差)，活動數據使用 2016 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 IPCC 提供之預設值及範圍以三角分佈模擬 (輸入最大、最小值與眾數或中位數)。暖化潛勢 (GWP) 實際具有很大的不確定性，然在 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 1000 次，評估結果如表 5.5.16 所示，農地間接氧化亞氮排放 - 揮散之不確定性為 -24% ~ 543%。

#### 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，以蒙地卡羅方法進行不確定性評估。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、殘體比、氮含量皆設為常態分佈 (輸入均值、標準差)，活動數據使用 2016 年數值，其不確定性範圍如表 5.5.17 所示；而對於排放係數依 2006 IPCC 提供之預設值及範圍以三角分佈模擬 (輸入最大、最小值與眾數或中位數)。暖化潛勢 (GWP) 實際具有很大的不確定性，然在 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 1000 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 -41% 至 314%。

表 5.5.13 農業土壤 N<sub>2</sub>O 間接排放的預設排放、揮散和淋洗係數

因子	IPCC 預設值 (範圍)
EF <sub>4</sub> [ 氮揮散和再沉降 ] (kg N <sub>2</sub> O-N / kg 揮散的 NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -N)	0.010(0.002 - 0.05)
EF <sub>5</sub> [ 淋洗和逕流 ] (kg N <sub>2</sub> O-N / kg 淋洗和逕流的 N)	0.0075(0.0005 - 0.025)
Frac <sub>GASF</sub> [ 化肥揮散 ] (kg NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -N / kg 投入的 N)	0.10(0.03 - 0.3)
Frac <sub>GASM</sub> [ 所有施用有機氮肥中的揮散，含放牧牲畜排泄的尿液和糞便 ] (kg 揮散 N / kg 施用和排泄的 N)	0.20(0.05 - 0.5)
Frac <sub>LEACH-(H)</sub> [ 灌溉的地區，通過淋洗 / 逕流的氮損失 ] (kg N / kg 投入的 N)	0.30(0.1 - 0.8)

表 5.5.14 臺灣 1990 至 2016 年農業土壤間接氧化亞氮 - 揮散之排放量

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年份	化學氮肥	有機氮肥	合計排放量
1990	118.48	53.89	172.37
1991	125.43	43.72	169.15
1992	121.05	39.52	160.57
1993	122.81	39.69	162.50
1994	123.59	34.67	158.26
1995	126.20	30.35	156.55
1996	128.46	29.36	157.81
1997	110.94	35.87	146.81
1998	107.86	27.76	135.61
1999	104.49	27.97	132.46
2000	114.97	33.65	148.62
2001	109.16	37.20	146.35
2002	106.67	39.22	145.89
2003	93.79	40.21	134.00
2004	100.40	39.92	140.32
2005	94.05	41.66	135.70
2006	94.61	42.85	137.46
2007	93.16	43.15	136.31
2008	85.94	44.50	130.45
2009	88.42	44.41	132.82
2010	87.20	44.33	131.53
2011	84.09	42.30	126.39
2012	85.42	44.44	129.86
2013	83.16	42.84	126.00
2014	81.51	45.46	126.97
2015	79.24	44.84	124.07
2016	80.50	44.31	124.80

表 5.5.15. 臺灣 1990 至 2016 年農業土壤間接氧化亞氮 - 淋洗 / 逕流之排放量

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年份	化學氮肥	有機氮肥	作物殘體	合計排放量
1990	266.57	60.63	21.84	349.04
1991	282.21	49.19	22.91	354.30
1992	272.36	44.46	23.22	340.05
1993	276.32	44.66	24.44	345.41
1994	278.07	39.01	24.79	341.87
1995	283.95	34.15	23.92	342.02
1996	289.03	33.03	23.51	345.56
1997	249.62	40.35	23.20	313.17
1998	242.68	31.23	22.59	296.50
1999	235.10	31.46	24.78	291.34
2000	258.69	37.86	27.01	323.56
2001	245.60	41.84	25.84	313.28
2002	240.00	44.12	28.52	312.65
2003	211.03	45.24	30.74	287.01
2004	225.90	44.91	32.43	303.24
2005	211.60	46.87	28.37	286.84
2006	212.87	48.20	29.90	290.97
2007	209.60	48.55	26.72	284.87
2008	193.37	50.07	27.02	270.46
2009	198.94	49.96	27.94	276.83
2010	196.21	49.87	26.79	272.87
2011	189.19	47.59	27.28	264.06
2012	192.20	50.00	26.84	269.04
2013	187.10	48.20	23.07	258.38
2014	183.40	51.15	22.93	257.47
2015	178.28	50.44	21.51	250.23
2016	181.12	49.84	19.60	250.56

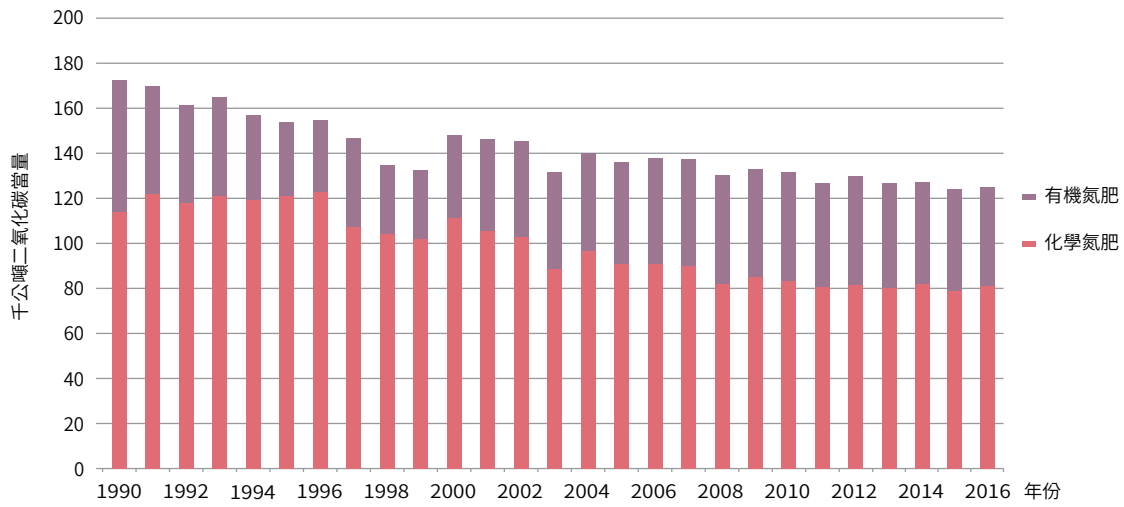


圖 5.5.2 臺灣 1990 至 2016 年農業土壤間接氧化亞氮-揮散排放趨勢

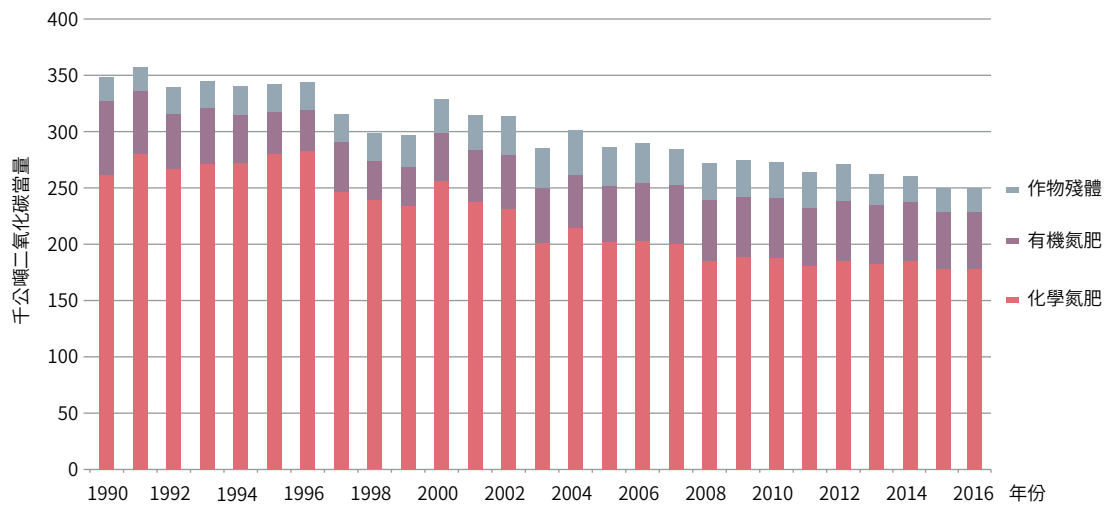


圖 5.5.3 臺灣 1990 至 2016 年農業土壤間接氧化亞氮-淋洗/逕流排放趨勢

表 5.5.16 農業土壤間接氧化亞氮排放 - 揮散之揮散係數、排放係數、活動數據及不確定性

項目	2016 年活動數據	轉換係數	氮投入量 (公噸 N)	揮散係數 (kg NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -N) / (kg 投入的 N)	排放係數 (kg N <sub>2</sub> O-N) / (kg 揮散的 NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -N)	排放量 (千公噸二氧化碳當量)
化學肥料	171,896 公噸氮 (±4%)	-	171,896 (±4%)	0.1 (0.03-0.3)	0.001 (0.0005- 0.05)	80.50 (-50%~736%)
有機氮肥	堆肥 2,447,638 公噸 (±5%)	乾物比 0.78 (-9% ~ 10%)	47,306 (-61% ~ 49%)	0.2 (0.05~0.5)		44.31 (-70%~666%)
	禽畜舍墊料 79,389 公噸 (±5%)	氮含量 2.7% (0.5% ~ 4%)				
小計						124.80 (-24%~543%)

## (2) 時間序列的一致性

農地間接氧化亞氮排放時間序列的一致性，同章節

### 5.5.1 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

同章節 5.4 3.C「水稻種植」之說明。

## 5. 特定排放源的重新計算

無。

## 6. 特定排放源的改善計畫

目前農委會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。但因各區域因土壤特性、氣候條件與地質條件不同，變異甚大，需再累積更多的數據，故此改善計畫提擬列為長期目標。

## 5.5.3 農業土壤的氧化亞氮排放量

### 1. 總排放量

臺灣 1990 至 2016 年農業土壤氧化亞氮排放總量，如表 5.5.18 及圖 5.5.4 所示。氧化亞氮排放總量，因農業活動衰減、作物轉作政策及合理化施肥推廣等因素下，排放量逐年降低，2016 年產生之氧化亞氮排放量，相較於 1990 年減少 28%。

表 5.5.17 農業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		2016 年活動數據	轉換係數			氮投入量 (公噸 N)	淋洗 / 逕流係數 (kg N / kg 投入的 N)	排放係數 (kg N <sub>2</sub> O-N) / (kg 淋洗和逕流的 N)	排放量 (千公噸二氧化碳當量)																
化學氮肥	171,896 公噸氮 (±4%)	-	171,896(±4%)			52,239 (-74% ~ 72%)	0.3 (0.1-0.8)	0.0075 (0.0005- 0.025)	181.12(-64% ~396%)																
有機氮肥	堆肥	2,447,638 公噸 (±5%)	乾物比 0.78 (±10%)			47,306 (-61% ~ 49%)			0.3 (0.1-0.8)	0.0075 (0.0005- 0.025)	49.84(-69% ~463%)														
	禽畜舍墊料	79,389 公噸 (±5%)	氮含量 2.7% (0.5~4%)																						
作物殘體	作物殘體分類	作物殘體量 (公噸)	乾物比	殘體比 (±50%)	氮含量 (±50%)	殘體氮含量 (公噸 N)					0.3 (0.1-0.8)	0.0075 (0.0005- 0.025)													
	水稻	1,266,132 (±5%)	1 (±10%)	1	0.007	8,863 (-66% ~ 76%)							0.3 (0.1-0.8)	0.0075 (0.0005- 0.025)											
	非固氮穀物作物	(乾物)	73,910 (±4%)	0.88 (±10%)	1.53	0.007									697 (-63% ~ 82%)	0.3 (0.1-0.8)	0.0075 (0.0005- 0.025)								
		(鮮物)	99,750 (±5%)	0.22 (±20%)	1.53	0.008									269 (-60% ~ 81%)			0.3 (0.1-0.8)	0.0075 (0.0005- 0.025)						
	固氮作物	(乾物)	76,885 (±4%)	0.91 (±10%)	1.83	0.008									1,024 (-57% ~ 77%)					0.3 (0.1-0.8)	0.0075 (0.0005- 0.025)				
		(鮮物)	76,091 (±4%)	0.88 (±20%)	1.83	0.016									490 (-64% ~ 83%)							0.3 (0.1-0.8)	0.0075 (0.0005- 0.025)	19.60(-71% ~406%)	
	根莖類作物 (鮮物)	774,342 (±2%)	0.22 (±20%)	0.41	0.016	1,118 (-61% ~ 82%)									0.3 (0.1-0.8)									0.0075 (0.0005- 0.025)	
	固氮綠肥 (鮮物)	1,120,240 (±3%)	-	-	0.022	5,377 (-63% ~ 80%)	0.3 (0.1-0.8)	0.0075 (0.0005- 0.025)																	
	非固氮綠肥 (鮮物)	149,561 (±4%)	-	-	0.048	314 (-61% ~ 77%)			0.3 (0.1-0.8)	0.0075 (0.0005- 0.025)															
	非固氮牧草 (鮮物)	894,605 (±5%)	0.22 (±20%)	0.46	0.015	453 (-63% ~ 82%)																			0.3 (0.1-0.8)
小計					18,604 (-38% ~ 42%)	0.3 (0.1-0.8)					0.0075 (0.0005- 0.025)	19.60(-71% ~406%)													

備註：資料由農委會之農業統計年報<sup>69</sup>彙整而來，各項分類作物所含作物種類如下：

1. 非固氮穀物作物 (乾物)：飼料玉米、高粱、其他 - 雜糧、胡麻等。
2. 非固氮穀物作物 (鮮物)：食用玉米。
3. 固氮作物 (乾物)：落花生、紅豆、大豆等。
4. 固氮作物 (鮮物)：菜豆、豌豆、毛豆等。
5. 根莖作物 (鮮物)：甘藷、蘿蔔、胡蘿蔔、其他根菜類、蔥、蒜等。
6. 固氮綠肥 (鮮物)：田菁、大豆、富貴豆、太陽麻、鐵虎豆、埃及三葉草、青皮豆等。
7. 非固氮綠肥 (鮮物)：油菜、其他單播 (大菜約佔半數)、混播等。
8. 非固氮牧草 (鮮物)：盤固拉草、狼尾草、其他牧草等。

<sup>69</sup> 同註 24。

## 2. 不確定性

不確定性由前述直接氧化亞氮排放、間接氧化亞氮排放 - 揮散、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 -3% 至 141%。

## 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。

表 5.5.18 臺灣 1990 至 2016 年農業土壤氧化亞氮排放總量

(單位：千公噸二氧化碳)

年份	直接氧化亞氮排放	間接氧化亞氮排放 - 揮散	間接氧化亞氮排放 - 淋洗 / 逕流	合計排放量
1990	1,315.77	172.37	349.04	1,837.18
1991	1,352.31	169.15	354.30	1,875.76
1992	1,299.07	160.57	340.05	1,799.70
1993	1,328.63	162.50	345.41	1,836.54
1994	1,317.66	158.26	341.87	1,817.79
1995	1,309.67	156.55	342.02	1,808.24
1996	1,334.37	157.81	345.56	1,837.74
1997	1,177.87	146.81	313.17	1,637.85
1998	1,104.16	135.61	296.50	1,536.28
1999	1,084.82	132.46	291.34	1,508.61
2000	1,244.56	148.62	323.56	1,716.74
2001	1,184.61	146.35	313.28	1,644.24
2002	1,196.06	145.89	312.65	1,654.60
2003	1,102.50	134.00	287.01	1,523.52
2004	1,195.00	140.32	303.24	1,638.55
2005	1,101.82	135.70	286.84	1,524.36
2006	1,125.46	137.46	290.97	1,553.89
2007	1,101.27	136.31	284.87	1,522.45
2008	1,039.50	130.45	270.46	1,440.41
2009	1,064.70	132.82	276.83	1,474.35
2010	1,051.62	131.53	272.87	1,456.02
2011	1,005.80	126.39	264.06	1,396.25
2012	1,025.24	129.86	269.04	1,424.14
2013	974.97	126.00	258.38	1,359.35
2014	968.47	126.97	257.47	1,352.92
2015	947.20	124.07	250.23	1,321.50
2016	942.37	124.80	250.56	1,317.73

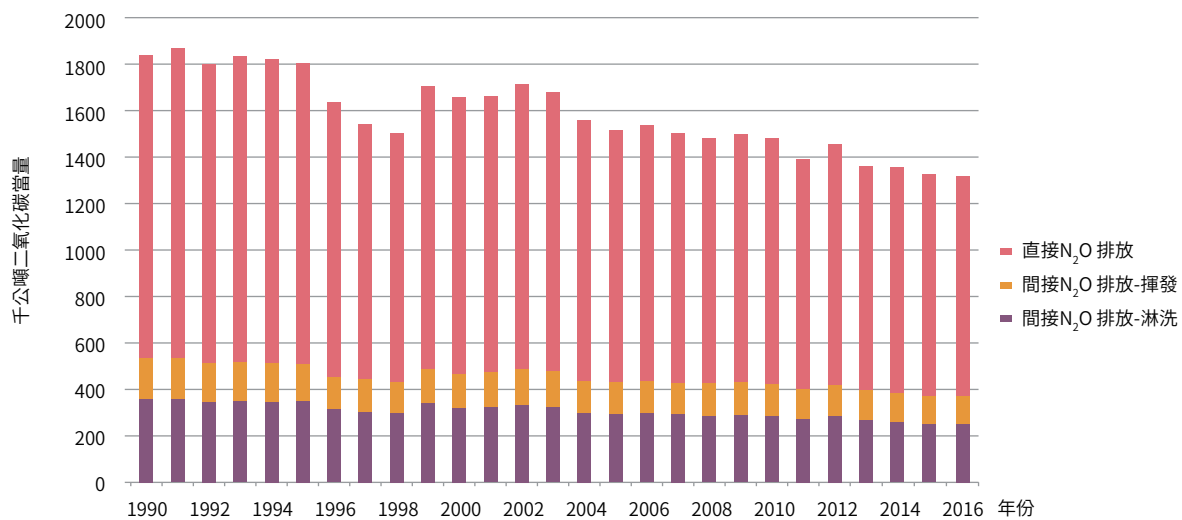


圖 5.5.4 臺灣 1990 至 2016 年農業土壤氧化亞氮排放趨勢



## 5.7 農作物殘體燃燒 (3.F)

本項估算農業殘體的焚燒相關的非二氧化碳排放。依據 2006 IPCC 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。因假設焚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，因此在本項只計算焚燒產生的甲烷及氧化亞氮。我國的農業殘體焚燒主要是以水稻稻藁為主，其他 2006 IPCC 所列各作物殘體焚燒資料，如豆類、塊根植物、甘蔗等則少有，因此本項以稻藁之焚燒量來計算。

### 2. 方法論議題

#### (1) 計算方法

本項計有關作物殘體焚燒之估算方法與係數，係參考 2006 IPCC 提供之預設方法 1(Tier 1) 與係數計算，公式 5.7.1 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，公噸甲烷及公噸氧化亞氮

MB = 焚燒物的單位面積質量，稻藁的質量，公噸

Cf = 焚燒係數，無單位 (表 5.7.1)

Gef = 排放係數，公斤 / 公噸乾物質焚燒 (表 5.7.2)

#### (2) 排放係數

表 5.7.1、表 5.7.2 為 2006 IPCC 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體之焚燒係數值與排放係數。

#### (3) 活動數據

作物殘體焚燒之活動數據，1999 至 2000 年引自農委會之農業統計年報：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，2001 年後引自行政院主計總處綠色國民所得帳之稻藁焚燒量，彙整如表 5.7.3 所示。

#### (4) 排放量

臺灣 1990 至 2016 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 5.7.1、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 年後稻藁焚燒量驟降，相對溫室氣體排放量亦降低，減量約 91%。

#### (5) 完整性

臺灣農業殘體焚燒主要是以水稻稻藁為主，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。

表 5.5.19 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	2016 年排放量 (千公噸二氧化碳當量)	不確定性
直接氧化亞氮排放	942.37	-25% ~ 127%
間接氧化亞氮排放 - 揮散	124.80	-24% ~ 543%
間接氧化亞氮排放 - 淋洗 / 逕流	250.56	-41% ~ 314%
農業土壤氧化亞氮排放量	1,317.73	-3% ~ 141%

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)

植被類型	亞類	焚燒係數均值 (Cf)
農業殘體	小麥殘體	0.90
	玉米殘體	0.80
	稻米殘體	0.80
	甘蔗	0.80

表 5.7.2 農業殘體排放係數 (公斤 / 公噸乾物質焚燒量)

項目	甲烷	氧化亞氮
排放係數	2.7	0.07

## 3. 不確定性與時間序列的一致性

## (1) 不確定性

活動數據係引用官方之農業統計數據，依 2006 IPCC 指南設定不確性為 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：

殘體焚燒排放溫室氣體之活動數據為不連續，2001 年後係引用行政院主計總處之綠色國民所得帳的稻藁焚燒量，1990 至 2000 年焚燒量作物殘體焚燒之活動數據引自農委會之農業統計年報：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。

表 5.7.3 臺灣 1990 至 2016 年作物殘體焚燒量

(單位：公噸)

年份	自給肥料 - 草木灰	估算稻藁焚燒量	稻藁焚燒量
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	-
2000	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
2014	-	-	66,561
2015	-	-	81,766
2016	-	-	61,255

備註：1990 至 2000 年引自農委會之農業統計年報 70：自給肥料 - 草木灰，以焚燒殘餘量 20% 推算焚燒稻藁量。2001 年後引自行政院主計總處之綠色國民所得帳 71：稻藁焚燒量。

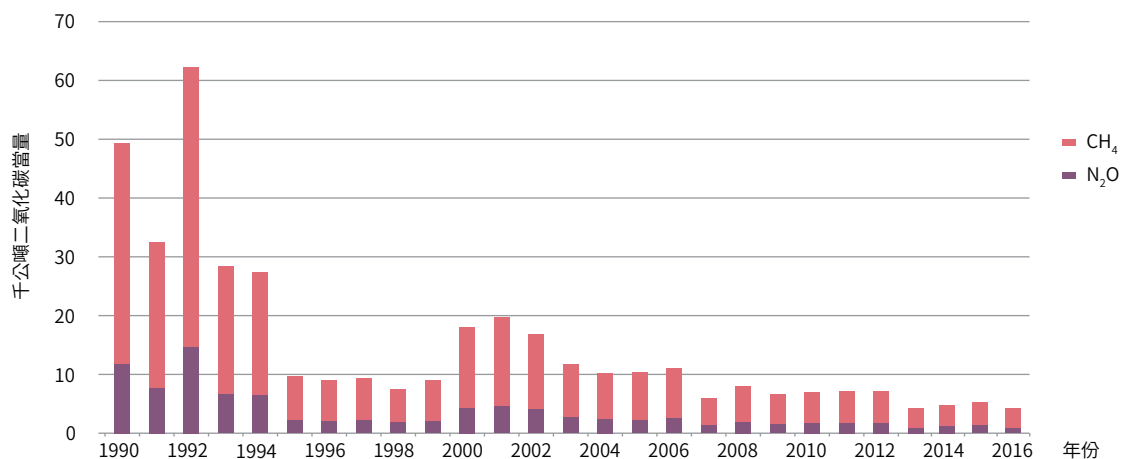


圖 5.7.1 臺灣 1990 至 2016 年作物殘體焚燒之甲烷與氧化亞氮排放趨勢

<sup>70</sup> 同註 24。

<sup>71</sup> 同註 45。

#### 4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

活動數據主要來官方之綠色國民所得帳，同依照國內統計法、統計法施行細則及其他有關法令執行，其餘同章節 5.4 3.C「水稻種植」之說明。

#### 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

於土壤中使用石灰的目的係以改善土壤酸鹼度，使土壤性質適於植物生長，而施用碳酸鹽類石灰，包括含鈣性石灰 (CaCO<sub>3</sub>) 或白雲岩 (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) 等，隨著碳酸鹽石灰溶解和釋放碳酸氫鹽 (HCO<sub>3</sub>)，而轉變為二氧化碳和水，導致二氧化碳排放。依據國內研究估算 (連等，

1992)<sup>72</sup>，評估石灰資材用量每年僅約 1 萬公噸，以此估計在農業溫室氣體排放量比例 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

尿素施用於土壤後，其水解過程，使工業生產過程所固定的二氧化碳又再排放。尿素 (CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>) 在水分和尿素酶作用下轉化為銨離子 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)、氫氧離子 (OH<sup>-</sup>) 和碳酸氫離子 (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)，而碳酸氫根最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 估算尿素水解過程中之二氧化碳排放；最後乘以 44/12 將 CO<sub>2</sub> - C 排放量換算成二氧化碳排放量。

表 5.7.4 臺灣 1990 至 2016 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)

年份	甲烷	氧化亞氮
1990	37.62	11.63
1991	24.76	7.65
1992	47.55	14.70
1993	21.74	6.72
1994	20.88	6.45
1995	7.42	2.29
1996	6.94	2.15
1997	7.11	2.20
1998	5.65	1.74
1999	6.89	2.13
2000	13.77	4.26
2001	15.07	4.66
2002	12.85	3.97
2003	8.86	2.74
2004	7.74	2.39
2005	7.92	2.45
2006	8.41	2.60
2007	4.56	1.41
2008	6.11	1.89
2009	5.04	1.56
2010	5.30	1.64
2011	5.36	1.66
2012	5.40	1.67
2013	3.30	1.02
2014	3.59	1.11
2015	4.52	1.36
2016	3.31	1.02

<sup>72</sup> 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，pp. 8-1~8-12. 中華土壤肥料學會，台中市，台灣，1992。

## 公式 5.9.1 施用尿素產生的年二氧化碳排放

$$\text{CO}_2\text{-C}_{\text{Emission}} = M \times \text{EF}$$

$\text{CO}_2\text{-C}_{\text{Emission}}$  = 尿素施用產生的年碳排放，公噸碳 / 年

M = 每年施用的尿素量，公噸尿素 / 年

EF = 排放係數，公噸碳 / 公噸尿素，IPCC 預設值 = 0.2

## (2) 排放係數

尿素採用的總排放係數 (EF) 為 0.20，為尿素 ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) 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，如表 5.9.1 所示。

## (4) 排放量

尿素施用產生之二氧化碳排放量如表 5.9.1 及圖 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，2016 年排放量較 1990 年減少 76%。

表 5.9.1 臺灣 1990 至 2016 年尿素施用量與施用產生之二氧化碳排放量

年份	尿素施用量 <sup>73</sup>	二氧化碳排放量
	公噸	千公噸二氧化碳當量
1990	193,121	141.62
1991	198,997	145.93
1992	189,649	139.08
1993	178,109	130.61
1994	183,914	134.87
1995	205,923	151.01
1996	205,577	150.76
1997	182,367	133.74
1998	173,169	126.99
1999	161,544	118.47
2000	178,367	130.80
2001	128,509	94.24
2002	127,158	93.25
2003	112,438	82.45
2004	113,914	83.54
2005	84,968	62.31
2006	81,093	59.47
2007	78,358	57.46
2008	77,478	56.82
2009	75,636	55.47
2010	73,420	53.84
2011	71,966	52.78
2012	74,931	54.95
2013	61,856	45.36
2014	54,399	39.89
2015	51,211	37.55
2016	45,995	33.73

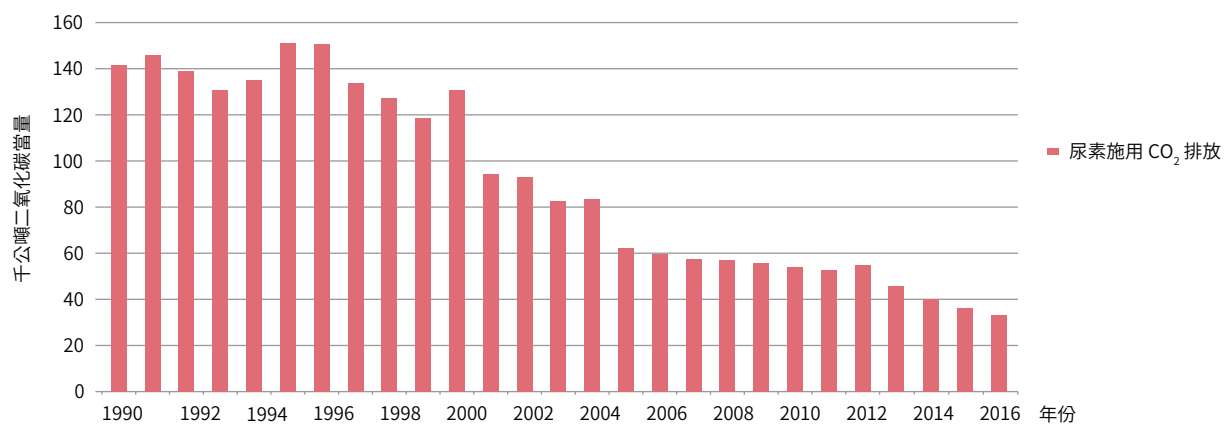


圖 5.9.1 臺灣 1990 至 2016 年尿素施用產生二氧化碳排放趨勢

<sup>73</sup> 同註 24。

### (5) 完整性

活動數據完整取自農委會之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

### (1) 不確定性

排放係數不確定性採用 IPCC 預設值為 -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，依 2006 IPCC 指南設定其不確定性 5%。利用誤差傳播法組合不確定性，計算結果如下：

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

$$\text{下限： } U_{\text{urea apply CO}_2} = -\sqrt{50^2 + 5^2} = -50\%$$

### (2) 時間序列的一致性

1990 至 2015 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

同章節 5.4 3.C 「水稻種植」之說明。

## 5. 特定排放源的重新計算

無。

## 6. 特定排放源的改善計畫

無。

## 5.10 其他含碳肥料 (3.I)

依據農委會之農業統計年報，其他含碳肥料為氫化鈣(Ca(CN)<sub>2</sub>)，但因其使用量少且無確切統計數據，故本項暫未估算。

## 5.11 其他 (3.J)

無其他項目。

## 參考文獻

1. IPCC 2006, Guidelines for National Greenhouse Gases Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management.
2. IPCC, Climate Change 2007, the Fourth Assessment Report (AR4) of the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change.
3. Wang, S.Y., D.J. Huang 2005, Assessment of greenhouse gas

emissions from poultry enteric fermentation, Asian-Australian Journal of Animal Science, 18(6), 873-878.

4. Su, J.J., B.Y. Liu and Y. C. Chang 2003, Emission of greenhouse gas from livestock waste and wastewater treatment in Taiwan, Agriculture Ecosystem & Environment 95, 253-263.
5. Yang, S.S., C.C. Lin, E.H Chang., R.S. Chung and S.N. Huang 1994, 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.
6. IPCC 2006, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use.
7. IPCC 2006, Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Volume 1 General Guidance and Reporting, Chapter 3. Uncertainties.
8. IPCC 2006, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 11: N<sub>2</sub>O Emissions from Managed Soils, and CO<sub>2</sub> Emissions from Lime and Urea Application.
9. IPCC 2007, Fourth Assessment Report: Climate Change.
10. Institute for Environmental Protection and Research (ISPRA) 2014, Italian, Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2012 National Inventory Report.
11. Ministry of the Environment 2014, Japan, National Greenhouse Gas Inventory Report of Japan.
12. Wang, C. S., S. H. Tsao and D. J. Liu 1986, Effects of N fertilization on the growth and yield of two maize hybrids, Jour. Agric. Res. China, 35(4), 437-448.
13. Yang, S. S., C. C. Lin, E. H. Chang, R. S. Chung and S. N. Huang, 1994, 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.
14. Yang, S. S., C. M. Liu, C. M., Lai and Y. L. Liu 2003, Estimation of methane and nitrous oxide emission from paddy fields and uplands during 1990-2000 in Taiwan, Chemosphere, 52, 1295-1305.
15. Yang, S. S., C. M. Lai, H. L. Chang, E. H. Chang and C. B. Wei 2009, Estimation of methane and nitrous oxide emissions from paddy fields in Taiwan, Renewable Energy, 34, 1916-1922.
16. 王淑音、馬維君與黃大駿 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。
17. 王淑音、謝憲蔚、王思涵與陳盈豪 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。
18. 蔡明宏、陳筱薇、黃楷翔、林政緯與王淑音 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。
19. 行政院農業委員會 2016，《中華民國農業統計年報》，臺北，臺灣：行政院農業委員會。
20. 行政院農業委員會 2016，《畜禽統計調查結果》，臺北，臺灣：行政院農業委員會。
21. 李春芳 2014，《個人通訊》，臺南，臺灣：行政院農業委員會畜產試驗所。
22. 王淑音、黃大駿與許皓豐 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。
23. 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。
24. 行政院農業委員會 1995，《臺灣農家要覽》，臺北，臺灣：行政院農業委員會。

25. 行政院主計總處 2016, 《綠色國民所得帳編製報告》, 臺北, 臺灣: 行政院主計總處。
26. 行政院農業委員會 2001, 《肥料要覽》, 臺北, 臺灣: 行政院農業委員會。
27. 行政院農業委員會 2016, 《中華民國農業統計年報》, 臺北, 臺灣: 行政院農業委員會。
28. 行政院農業委員會農糧署 2003, 《作物施肥手冊》, 南投, 臺灣: 行政院農業委員會農糧署。
29. 行政院農業委員會農糧署 2016, 《稻穀生產成本調查報告》, 南投, 臺灣: 行政院農業委員會農糧署。
30. 行政院農業委員會農糧署, 農糧統計\公務統計\臺灣地區肥料產銷量值, <http://www.afa.gov.tw/>, 2016。
31. 有機農業全球資訊網。 <http://info.organic.org.tw/supergood/front/bin/home.phtml>, 2016。
32. 呂秀英、呂椿棠與陳烈夫 1999, 「水芋收穫指數的動態模式」, 《中華農業研究》, 48(2), 86-99。
33. 李銘全、許秋玫、林順臺與洪阿田 1999, 「不同氮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》, 10(2), 22-31。
34. 林順福、詹國連與魏趨開 1991, 「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》, 40(3), 305-314。
35. 連深、王鐘和與黃維廷 1992, 「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》, 8-1-8-12, 臺中, 臺灣: 中華土壤肥料學會。
36. 郭鴻裕 1992, 「臺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》, 3-1-3-7, 臺中, 臺灣: 中華土壤肥料學會。
37. 郭鴻裕、朱戩良、江志峰與吳懷國 1995, 「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》, 72-83, 臺中, 臺灣: 行政院農業委員會農業試驗所。
38. 陳仁炫 2003, 「有機質肥料的檢測與成分分析結果之解析」, 《有機質肥料之特性與管理研習會專刊》, 58-67, 臺中, 臺灣: 國立中興大學土壤調查試驗中心。
39. 黃勝忠與宋勳 1995, 「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。
40. 賴永昌、廖嘉信與陳一心 1996, 「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。
41. 譚增偉、劉禎祺與陳桂暖 2005, 「土壤肥力與合理化施肥」, 《合理化施肥專刊》, 43-62, 臺中, 臺灣: 行政院農業委員會農業試驗所。
42. 譚增偉與陳桂暖 2011, 「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), 115-124。