第五章 農業部門(CRT 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, 以下簡稱 IPCC）於 2006 年出版國家溫室氣體排放清冊指南[1]（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[2]（Global Warming Potential，以下簡稱 GWP）分別為 28 與 265。

農業部門各排放源分類及計算方法學如表 5.1.1 與表 5.1.2 所示。其中，畜牧業相關排放源包括「畜禽腸胃發酵」（甲烷）及「畜禽糞尿處理」（甲烷及氧化亞氮），統計範圍僅涵蓋人工飼養之家畜家禽，野生動物則因生態複雜且排放難以估算，故未列入統計。農糧產業之排放源主要有來自農地的「水稻種植」（甲烷）、「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）與「尿素施用」（二氧化碳），至於「草原焚燒」我國因氣候環境因素，無大規模草原焚燒現象，且缺乏相關統計數據，故不納入計算，另因我國農業生產中石灰與其他含碳肥料施用量低，且缺乏明確統計數據，因此「石灰處理」與「其他含碳肥料」兩項排放源暫未估算。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。

我國 1990 至 2023 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 年起整體呈現下降趨勢，主要因我國加入世界貿易組織（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，係口蹄疫致豬隻飼養頭數銳減之故。我國 2023 年農業部門溫室氣體排放源占比如圖 5.1.3，農業土壤 35.28%為最大占比，其他如畜禽糞尿處理占 28.52%、畜禽腸胃發酵占 19.29%、水稻種植占 16.26%、尿素施用占 0.59%、作物殘體燃燒占 0.05%。

[1] IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006.

[2] IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013.

表 5.1.1 農業部門排放源分類

排放源	範疇定義	納入排放計算之溫室氣體
3.A 畜禽腸胃發酵	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。	甲烷
3.B 畜禽糞尿處理	人類飼養的家畜及家禽，除了消化過程中因腸胃發酵產生甲烷外，其排泄作用所產生的糞尿的處理亦會產生甲烷及氧化亞氮之溫室氣體。	甲烷、氧化亞氮
3.C 水稻種植	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。	甲烷
3.D 農業土壤	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，而造成氧化亞氮的直接與間接排放。	氧化亞氮
3.E 草原焚燒	熱帶與亞熱帶地區之草原燃燒時所產生的非二氧化碳溫室氣體，包含一氧化碳、甲烷、氧化亞氮與氮氧化物，因我國農業鮮有此種經營管理模式且無相關統計資料，暫未估算。	無
3.F 作物殘體燃燒	現地焚燒農作物殘體時所產生的非二氧化碳溫室氣體，包含一氧化碳、甲烷、氧化亞氮與氮氧化物。	甲烷、氧化亞氮
3.G 石灰處理	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($CaCO_3$)或白雲岩($CaMg(CO_3)_2$)等，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，因我國國內使用量少且缺乏確切統計資料，暫未估算。	無
3.H 尿素施用	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。	二氧化碳
3.I 其他含碳肥料	IPCC 並未對此項目進行定義或指導，我國國內使用量少且缺乏確切統計資料，暫未估算。	無
3.J 其他	無	無

表 5.1.2 農業部門所使用方法學

溫室氣體排放源分類	二氧化碳		甲烷		氧化亞氮	
	方法學	排放係數	方法學	排放係數	方法學	排放係數
3.A 畜禽腸胃發酵			T1, T3	D, CS		
產乳牛、其他牛			T3	CS		
豬、水牛、山羊			T1	D		
家禽			T3	CS		
3.B 畜禽糞尿處理			T1, T3	D, CS	T1, T3	D, CS
產乳牛			T3	CS	T3	CS
豬、水牛、山羊、其他牛			T1	D	T1	D
家禽			T3	CS	T3	CS
3.C 水稻種植			T2	CS		
3.D 農業土壤					T1	D
3.E 草原焚燒			NE	NE	NE	NE
3.F 作物殘體燃燒			T1	D	T1	D
3.G 石灰處理	NE	NE				
3.H 尿素施用	T1	D				
3.I 其他含碳肥料	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3.J 其他	NO	NO	NO	NO	NO	NO

備註：各式符號係指我國該分類採用 2006 IPCC 指南方法 1 (Tier 1, T1)；2006 IPCC 指南方法 2 (Tier 2, T2)；2006 IPCC 指南方法 3 (Tier 3, T3)；IPCC 指南預設方法 (IPCC default, D), 國家特定方法 (country specific, CS)；NE（未估計）指對現有排放量和移除量未調查估計；NO（未生產）指我國該分類項目無生產或使用，如停產；灰底為指南未建議納入統計該氣體。

表 5.1.3 1990 年至 2023 年農業部門溫室氣體排放量

（單位：千公噸二氧化碳當量）

溫室氣體排放源	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
3.A 畜禽腸胃發酵	750	819	826	868	883	921	921	820	755
3.B 畜禽糞尿處理	1,375	1,606	1,562	1,583	1,624	1,695	1,733	1,332	1,119
3.C 水稻種植	1,226	1,166	1,084	1,059	998	984	961	976	953
3.D 農業土壤	2,150	2,244	2,160	2,202	2,200	2,212	2,259	1,957	1,853
3.E 草原焚燒	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3F 作物殘體燃燒	52	35	66	30	29	10	10	10	8
3.G 石灰處理	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3.H 尿素施用	142	146	139	131	135	151	151	134	127
3.I 其他含碳肥料	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3.J 其他	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
農業部門總排放量	5,694	6,015	5,838	5,873	5,869	5,974	6,034	5,228	4,814
溫室氣體排放源	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**
3.A 畜禽腸胃發酵	778	775	739	712	701	688	698	688	682
3.B 畜禽糞尿處理	1,225	1,263	1,209	1,153	1,150	1,155	1,207	1,194	1,124
3.C 水稻種植	947	899	887	816	721	643	717	706	690
3.D 農業土壤	1,905	2,059	1,944	1,939	1,754	1,904	1,753	1,782	1,751
3.E 草原焚燒	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3F 作物殘體燃燒	10	19	21	18	12	11	11	12	6
3.G 石灰處理	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3.H 尿素施用	118	131	94	93	82	84	62	59	57
3.I 其他含碳肥料	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3.J 其他	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
農業部門總排放量	4,982	5,147	4,894	4,732	4,420	4,484	4,449	4,441	4,310
溫室氣體排放源	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**
3.A 畜禽腸胃發酵	655	640	648	660	653	649	634	641	628
3.B 畜禽糞尿處理	1,093	1,049	1,056	1,070	1,028	996	961	954	951
3.C 水稻種植	676	678	659	668	688	710	702	678	705
3.D 農業土壤	1,634	1,676	1,657	1,583	1,612	1,548	1,526	1,493	1,497
3.E 草原焚燒	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3F 作物殘體燃燒	9	7	7	7	8	5	5	6	5
3.G 石灰處理	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3.H 尿素施用	57	55	54	53	55	45	40	38	34
3.I 其他含碳肥料	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3.J 其他	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
農業部門總排放量	4,124	4,105	4,081	4,042	4,043	3,952	3,868	3,810	3,820
溫室氣體排放源	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**		
3.A 畜禽腸胃發酵	632	640	643	650	665	655	643		
3.B 畜禽糞尿處理	951	957	973	975	972	951	950		
3.C 水稻種植	704	689	684	677	608	576	542		
3.D 農業土壤	1,431	1,382	1,311	1,364	1,271	1,216	1,175		
3.E 草原焚燒	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE		
3F 作物殘體燃燒	5	3	3	1	1	1	2		
3.G 石灰處理	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE		
3.H 尿素施用	31	30	29	29	27	22	20		
3.I 其他含碳肥料	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE		
3.J 其他	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE		
農業部門總排放量	3,753	3,702	3,644	3,696	3,543	3,421	3,331		

備註：1. 2005 年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閩地區）。

2. NE（未估計）指對現有排放量和移除量未調查估計。

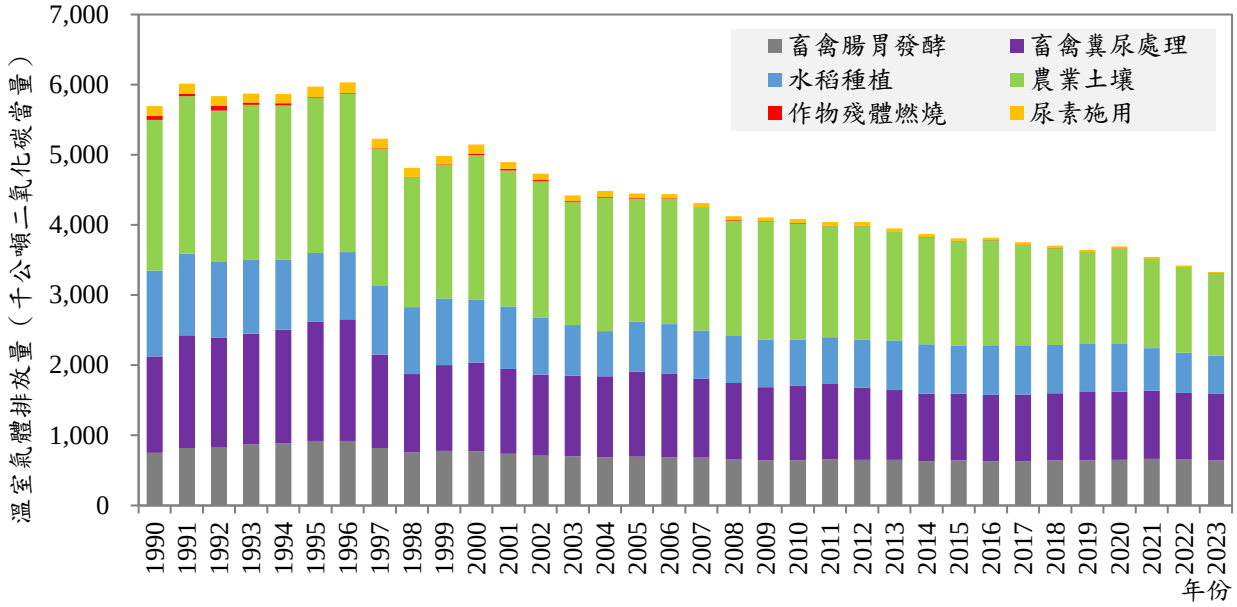

圖 5.1.1 1990 年至 2023 年農業部門排放量趨勢（依類別）

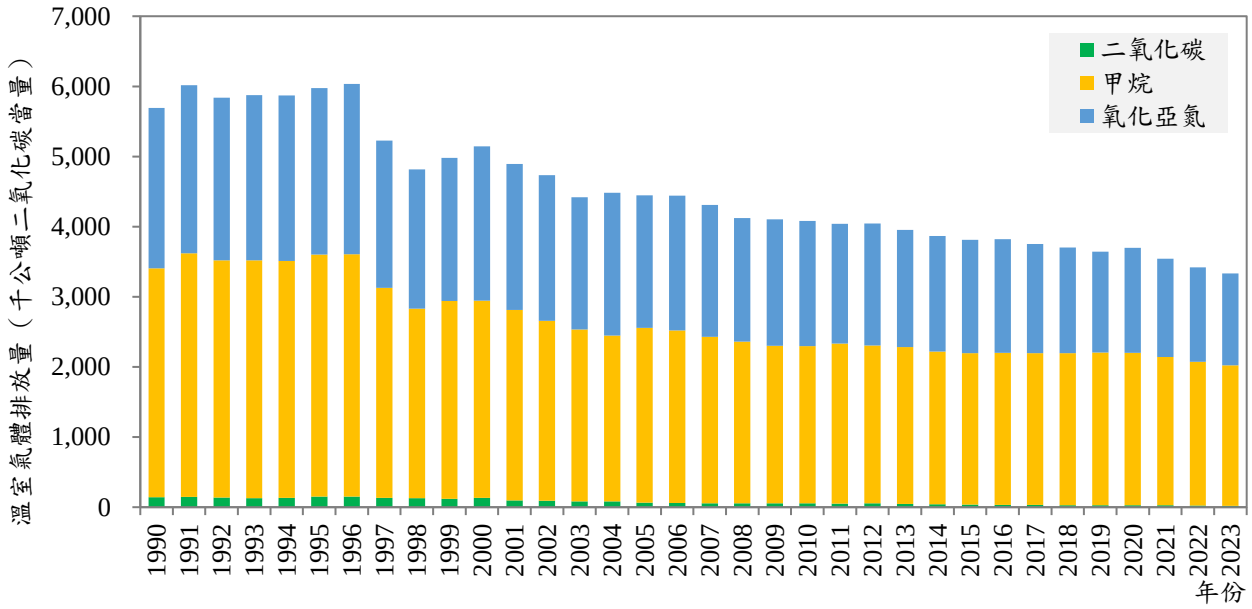

圖 5.1.2 1990 年至 2023 年農業部門排放量（依氣體）

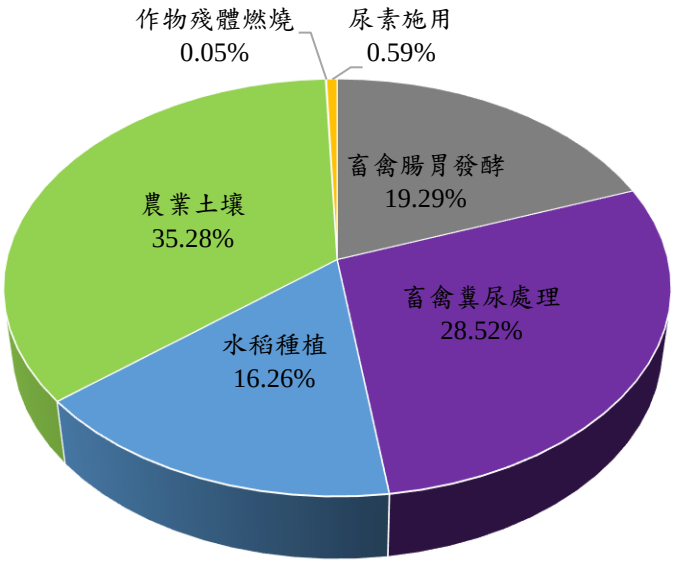

圖 5.1.3 2023 年農業部門各類排放源溫室氣體排放占比

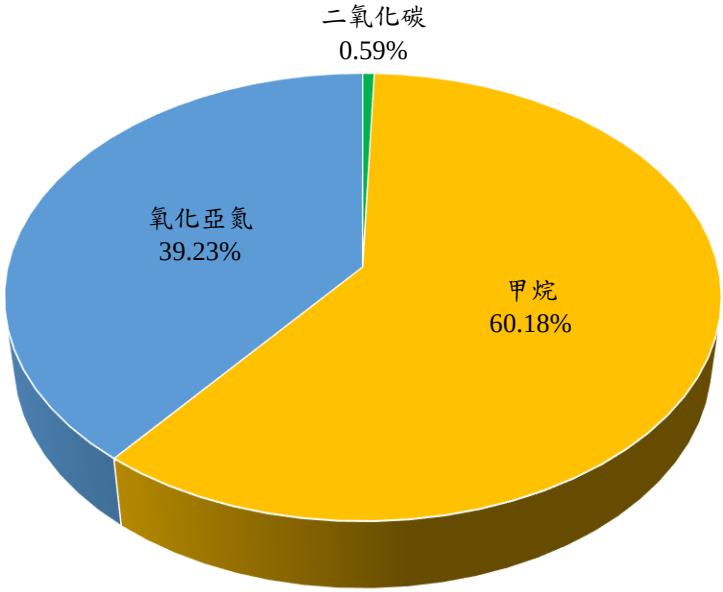

圖 5.1.4 2023 年農業部門各類溫室氣體排放量占比

5.2 畜禽腸胃發酵(3.A)

畜禽腸胃發酵係指家畜及家禽在消化過程中，經腸胃微生物發酵所產生的甲烷排放量。其中草食動物的甲烷排放量高於雜食動物，而草食動物中又以反芻類為最高。

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，然後由血液運送，以提供動物體所需的養分；惟微生物分解作用時會釋出大量的氫，進一步合成為甲烷氣體後排出。甲烷的生成以反芻動物瘤胃中產生之最多。雖反芻動物腸胃發酵之甲烷產量較高，但因我國地處亞熱帶，且豬及家禽飼養比例高，因此豬、雞類排放量占比高。

在腸胃發酵生成甲烷之研究方面，家禽之研究為我國特色，因此 2006 IPCC 指南雖未估算家禽類，我國仍將自 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；另產乳牛亦採取本土研究之係數，該係數雖較 IPCC 對亞洲的預設值為高，但反而與北美洲等畜牧大國使用之係數較為相近，因此我國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%，而我國並無商業飼養綿羊、駱駝、駱馬及騾，故均不計入。

2.方法論議題

(1)計算方法

依據 2006 IPCC 指南，計算我國畜禽腸胃發酵甲烷排放量，計算方式係為各畜禽排放係數乘上年度活動數據之加總（公式 5.2.1）。產乳牛及其他牛之排放係數計算方法經農業部門溫室氣體排放清冊專家諮詢會通過後，採用 2006 IPCC 指南方法 3 (Tier 3)；家禽之排放係數計算方法經農業部門溫室氣體排放清冊專家諮詢會通過後，採用 2006 IPCC 指南方法 3；其他畜種排放係數則採用 2006 IPCC 指南方法 1 (Tier 1)。

公式5.2.1：

畜禽腸胃發酵甲烷之排放量（千公噸二氧化碳當量/年）

$$=\Sigma_i (EF_i \times N_i \times 28 \times 10^{-6})$$

EF_i：畜禽種類 i 之腸胃發酵甲烷排放係數（公斤甲烷/頭（隻）/年）

N_i：畜禽種類 i 年度活動數據（頭（隻））

28：甲烷排放量換算為二氧化碳當量所使用之甲烷全球暖化潛勢(GWP)

i：畜禽種類，分別為產乳牛、其他牛、水牛、山羊、豬（所有豬）、白色肉雞、有色肉雞、蛋雞、肉鴨及鵝。

(2)排放係數

我國自 1998 年起陸續進行一系列畜禽溫室氣體排放相關研究，並於 2001 年召集專家進行研究成果審查，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 的預設值；而鹿及馬飼養頭數非常少，不予計入。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。至於家禽如白色肉雞、有色肉雞、鵝及鴨等生命週期未達一年或全年期間飼養量較不一致者，其排放係數單位則為每個生命週期每隻家禽腸胃發酵的甲烷排放量。有關我國畜禽腸胃發酵排放甲烷之係數詳如表 5.2.1。

產乳牛之甲烷排放係數於 2013 年進行調整，係因應近年國內乳牛飼養環境及飼料使用型態變化所致。調整後之係數為 125.1 公斤/頭/年，而其他牛種則維持原係數 64.3 公斤/頭/年不變。

(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，惟對於生命週期未達一年的禽種，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，我國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禽種當年底的在養量，至於白色肉雞、有色肉雞、鵝及鴨，因飼養期未達一年，以年屠宰隻數為該家禽的活動數據（如表 5.2.2）。

表 5.2.1 畜禽腸胃發酵排放甲烷之係數表

	細分類		甲烷排放係數(CH_4 EF)			
			係數	單位	參考文獻來源	不確定性
畜禽腸胃發酵	牛(Cattle)	產乳牛(Dairy Cows)	125.1	公斤/頭/年	（農業部，2014）	±30.0%
		其他牛(Other Cattle)	64.3	公斤/頭/年	（農業部，2014）	±30.0%
	水牛(Buffalo)		55.0	公斤/頭/年	2006 IPCC	±30.0%
	山羊(Goats)		5.0	公斤/頭/年	2006 IPCC	±30.0%
	豬(Swine)		1.5	公斤/頭/年	2006 IPCC	±30.0%
	家禽(Poultry)	白色肉雞	1.587×10^{-5}	公斤/隻/生命週期	(Wang & Huang, 2005)	±12.1%
		有色肉雞	8.482×10^{-5}	公斤/隻/生命週期	(Wang & Huang, 2005)	±12.0%
		蛋雞	1.061×10^{-2}	公斤/隻/年	（王淑音等人，2002）	±37.3%
		鵝	1.500×10^{-3}	公斤/隻/生命週期	（王淑音等人，2003）	±27.7%
		肉鴨	2.071×10^{-3}	公斤/隻/生命週期	（蔡明宏等人，2003）	±21.7%

備註：1.產乳牛：包括泌乳牛、乾乳牛

2.其他牛：包括黃牛、雜種牛、肉用乳牛及未產女牛。

3.水牛、山羊及豬採用 2006 IPCC 指南方法 1 (Tier 1)所建議排放量之計算。

4.牛與家禽類採用 2006 IPCC 指南方法 3 (Tier 3)所建議排放量之計算。

5.IPCC 預設排放係數之選用，以年均溫攝氏 23 度之資料為主。

資料來源：1.行政院農業委員會（現為農業部），2014 年「畜牧業溫室氣體排放清冊彙整及國外畜牧業清潔發展機制(CDM)之探討計畫」（103 農科-2.1.4-牧-U2(3)）之第一次專家諮詢會會議紀錄，2014。

2.Wang, S.Y. and D.J. Huang, Assessment of greenhouse gas emissions from poultry enteric fermentation, Asian-Australian Journal of Animal Science, 18(6):873-878, 2005.

3.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。

4.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。

5.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之評估，中國畜牧學會會誌，32(4)：151，2003。

表 5.2.2 1990 年至 2023 年畜禽活動數據

（單位：頭（家畜）/千隻（家禽））

細分類 / 年份	產乳牛 [a]	其他牛 [a]	水牛 [a]	山羊 [a]	豬 [a]	白色肉雞 [b]	有色肉雞 [b]	蛋雞 [a]	鵝 [b]	鴨 [b]
1990	46,342	86,020	21,876	206,366	8,565,250	74,415	135,664	25,875	4,777	38,269
1991	49,433	84,805	18,618	214,946	10,089,137	91,504	126,692	26,484	4,628	34,739
1992	53,295	87,955	16,623	247,293	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	65,284	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	6,540	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	6,265,546	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
2017	60,523	84,572	2,057	144,733	5,432,676	211,111	106,505	44,726	2,384	36,339
2018	61,967	86,275	2,104	141,533	5,447,283	226,540	108,939	45,935	2,755	35,596
2019	61,813	87,006	1,972	134,789	5,514,211	240,167	114,356	47,690	2,985	37,002
2020	62,916	88,598	2,116	130,595	5,512,274	250,557	109,053	48,391	3,829	34,827
2021	64,974	94,148	2,002	126,067	5,471,588	266,376	109,909	48,617	3,644	33,348
2022	64,516	93,719	1,915	116,496	5,316,431	263,074	111,750	50,250	4,410	35,453
2023	61,681	92,513	1,827	115,974	5,319,203	251,734	109,564	50,757	3,894	32,727

備註：1.a 為年底在養頭（隻）數，b 為當年總生產量。

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閩地區）。

3.其他牛頭數計算為：[黃牛及雜種牛頭數 a+乳牛（含肉用）頭數 a-產乳牛頭數 a]；

4.山羊頭數計算為：[肉羊頭數 a]+[乳羊頭數 a]；

5.蛋雞隻數計算為：[蛋雞隻數 a]+[蛋種雞隻數 a]+[肉種雞隻數 a]；

6.鴨及鵝為肉鴨隻數及肉鵝隻數。

資料來源：1.農業部，農業統計年報，2024。

2.農業部，畜禽統計調查結果，2024。

(4)排放量

2023 年排放量我國畜禽腸胃發酵的甲烷排放量為 643 千公噸二氧化碳當量，其他各年如圖 5.2.1 及表 5.2.3。我國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 種主要畜禽種，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，得到該畜禽種當年度的腸胃發酵甲烷排放總量、並換算為二氧化碳當量後，再予以加總所得。

2023 年我國畜禽腸胃發酵的甲烷排放量相較於 1990 年（750 千公噸二氧化碳當量）及 2005 年（698 千公噸二氧化碳當量）排放量分別為減少 14.32%及 7.88%，同時也低於 2022 年排放量（655 千公噸二氧化碳當量）。分析我國 1990 年至 2023 年畜牧產業之畜禽腸胃發酵甲烷排放量趨勢與畜禽養殖數有密不可分的關係。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，至 1996 年達到高峰；1997 年國內養豬產業受口蹄疫疫情影響，豬隻飼養量陡然驟降，雖家禽飼養量有所提升，惟禽類並非腸胃發酵甲烷主要排放源，因此整體排放量隨之下降；又 2001 年起我國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，使國內畜禽飼養量降低，期間各類畜禽間飼養量雖略有消長，惟排放量整體而言仍為遞減趨勢，直至 2008 年後趨於穩定，隨短暫市場現象稍有波動。

(5)完整性

已將我國目前主要且穩定飼養之畜禽種類均包括在內。

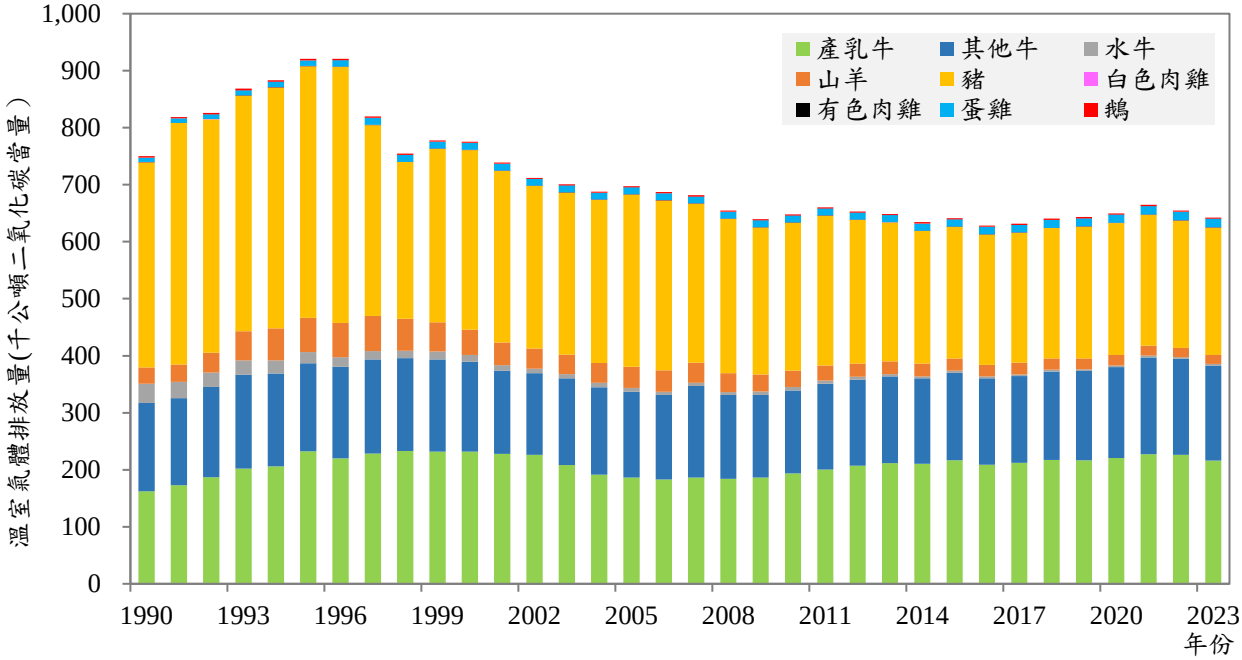

圖 5.2.1 1990 年至 2023 年畜禽腸胃發酵之甲烷排放量

表 5.2.3 1990 年至 2023 年畜禽腸胃發酵之甲烷排放量

（單位：千公噸二氧化碳當量）

細分類 / 年份	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	162	155	34	29	360	0.03	0.3	8	0.2	2	750
1991	173	153	29	30	424	0.04	0.3	8	0.2	2	819
1992	187	158	26	35	410	0.05	0.3	8	0.2	2	826
1993	202	165	25	51	413	0.05	0.4	9	0.3	3	868
1994	206	163	23	56	423	0.06	0.4	9	0.4	2	883
1995	233	154	20	60	441	0.07	0.4	10	0.3	2	921
1996	220	160	17	60	449	0.07	0.4	11	0.3	2	921
1997	229	165	15	62	335	0.08	0.4	12	0.3	2	820
1998	233	163	13	56	275	0.08	0.4	12	0.3	2	755
1999	232	162	14	51	304	0.08	0.4	12	0.3	2	778
2000	232	158	12	44	315	0.08	0.4	12	0.3	2	775
2001	228	146	10	40	301	0.08	0.4	12	0.3	2	739
2002	226	143	8	35	285	0.08	0.4	12	0.3	2	712
2003	208	152	8	34	285	0.08	0.4	12	0.3	2	701
2004	191	153	8	35	286	0.09	0.3	12	0.3	2	688
2005	186	151	6	37	302	0.07	0.3	12	0.3	2	698
2006	183	148	5	38	298	0.08	0.3	12	0.3	2	688
2007	186	161	5	36	279	0.08	0.3	12	0.2	2	682
2008	184	147	6	33	271	0.08	0.3	12	0.2	2	655
2009	186	145	6	30	258	0.08	0.3	12	0.2	2	640
2010	194	146	6	29	260	0.09	0.3	12	0.2	2	648
2011	200	150	6	27	263	0.09	0.3	12	0.2	2	660
2012	207	151	5	23	252	0.08	0.3	12	0.2	2	653
2013	212	152	4	23	244	0.08	0.2	12	0.2	2	649
2014	211	150	4	22	233	0.09	0.3	13	0.2	2	634
2015	217	153	4	22	231	0.09	0.3	13	0.1	2	641
2016	209	152	3	20	229	0.09	0.3	13	0.1	2	628
2017	212	152	3	20	228	0.09	0.3	13	0.1	2	632
2018	217	155	3	20	229	0.10	0.3	14	0.1	2	640
2019	217	157	3	19	232	0.11	0.3	14	0.1	2	643
2020	220	160	3	18	232	0.11	0.3	14	0.2	2	650
2021	228	170	3	18	230	0.12	0.3	14	0.2	2	665
2022	226	169	3	16	223	0.12	0.3	15	0.2	2	655
2023	216	167	3	16	223	0.11	0.3	15	0.2	2	643

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農業部出版之農業統計年報，依 2006 IPCC 指南設定不確定性為±5%；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，惟如本土係數無法計算 CV%者，就引用 IPCC 不確定性之參考值；至直接使用 IPCC 之排放係數，則逕行引用 IPCC 不確定性數值。

依據 2006 IPCC 指南，畜牧業之溫室氣體排放量不確定性之計算，主要採用 IPCC 建議之誤差傳播法演算。各類畜禽種類分項之不確定性，則以誤差傳播法中之乘法規則計算，即以排放係數不確定性平方加上活動係數不確定性平方後、再開根號之所得（公式 5.2.2）。至畜禽腸胃發酵甲烷排放總量之不確定性則以誤差傳播法中之加法規則計算（公式 5.2.3），即各畜禽排放量與相乘不確定性相乘數平方之總和開根號，再除以總排放量之所得。經計算後 2023 年腸胃發酵甲烷排放量之不確定性為±16.73%。

公式 5.2.2：

$$\mathbf{U}_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \cdots + U_n^2}$$

U_{total}：不確定性之總和（乘法規則）

U_1,U_2,U_n：不同變量的不確定性

公式 5.2.3：

$$\mathbf{U}_{total} = \frac{\sqrt{(U_1 \times E_1)^2 + \cdots + (U_n \times E_n)^2}}{E_1 + E_2 + \cdots + E_n}$$

U_{total}：不確定性之總和（加法規則）

U_1,U_2,U_n：不同變量的不確定性

E_1,E_2,E_n：不同變量的排放量

(2)時間序列的一致性

產乳牛之排放係數曾於 2013 年進行修正、水牛之排放係數曾於 2015 年進行修正，皆有回溯更新過往排放量，故 1990 年至 2023 年排放係數皆維持一致；此外，所有項目之活動數據來源及計算方法由 1990 年至 2023 年亦皆維持一致。

4.特定排放源的 QA/QC 及查證

活動數據主要來自農業部之農業統計調查資料，而農業部依據統計法、統計法施行細則及其他有關法令之規定特別制定「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；畜牧業部分清冊初稿完成後，再邀請專家學者所組成之諮詢小組，審議數據之正確性，並提供改善建議，經修正後再提送農業部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。最後送環境部併同其他部門之清冊，辦理國家溫室氣體排放清冊之 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，均係農業部畜產試驗所於 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業部科技計畫團隊

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，在小地主大專業農政策推動下，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。

農業部參考近年來之國內泌乳牛及乾乳牛族群數比例，並於 2014 年下半年密集召開畜禽溫室氣體專家諮詢會研商，依 2014 年 12 月 19 日「畜牧業溫室氣體排放清冊更新專家諮詢會」決議，自 2013 年起，產乳牛之腸胃發酵甲烷排放係數本土值調整為 125.1 公斤/頭/年，並回溯更新歷年排放量，其他牛則皆維持 64.3 公斤/頭/年[3]不變。

另查我國水牛飼養量極少，檢視國內研究資料並無水牛溫室氣體排放之相關研究，農業部業依 2014 年 12 月 19 日「畜牧業溫室氣體排放清冊更新專家諮詢會」決議，自 2015 年起水牛腸胃發酵甲烷排放係數修正為 2006 IPCC 指南設定值之 55 公斤/頭/年，並回溯更新歷年排放量。

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，惟養豬為我國主要畜牧經濟活動之一，而農業部畜產試驗所（以下簡稱畜試所）李春芳研究員等人進行之國內豬隻活體溫室氣體排放量調查，其成果摘要已發表於 2015 年 12 月份中國畜牧學會會誌增刊，顯示國內豬隻腸胃發酵甲烷排放係數為 3.15 公克/頭/日或 1.15 公斤/頭/年，惟該研究報告資料未臻完備，俟有完整資料發表後再予以採用[4]。2022 年中國畜牧學會會誌增刊中顯示，國內乳山羊腸胃甲烷排放量為 12.03 公斤/頭/年，該部分資料尚待專家委員會討論是否進行山羊排放係數修正[5]。此外，農業部歷年來持續推動精準營養及飼養管理等「降低腸胃發酵排放量」相關工作，畜禽的腸胃發酵排放之甲烷，也會隨之變化。後續將針對該部分溫室氣體排放之研究成果，建立、修正或更新本土排放係數。另一方面，專家委員會議建議，國內家禽雖然飼養量大，但是其腸胃道排放量較低，國際間並未將其納入腸胃道發酵甲烷排放計算之中，是否持續納入計算則需要進一步討論。

[3] 行政院農業委員會（現為農業部），2014 年「畜牧業溫室氣體排放清冊彙整及國外畜牧業清潔發展機制(CDM)之探討計畫」（103 農科-2.1.4-牧-U2(3)）之第一次專家諮詢會會議紀錄，2014。

[4] 李春芳、王嘉惠、吳啟瑞、范耕榛、洪鈴柱、程梅萍、蕭宗法，國內豬活體溫室氣體排放量調查，中國畜牧學會會誌，44(suppl.):259，2015。

[5] 李春芳、王嘉惠、蕭宗法、范耕榛，臺灣乳山羊活體溫室氣體排放係數建立，中國畜牧學會會誌，51(suppl.):189，2022。

5.3 畜禽糞尿處理(3.B)

人類飼養的家畜及家禽，除了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

由於我國地狹人稠且位處亞熱帶地區，畜牧場（特別是養豬場及牛場）常需使用大量清水進行畜舍清潔，並為畜舍及牲畜進行降溫散熱，導致畜牧場排出的糞尿通常已與大量沖洗水混合。因此，我國環境保護相關法規對於畜牧場的管理，多以廢水處理為核心，要求業者須將畜牧廢水處理至符合法規規定的放流水標準後，始得排放至場外。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。

我國自 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→厭氧發酵→好氣處理）為主。因此在畜禽糞尿處理上，豬及產乳牛糞尿之排放係數原係依 2003 年發表三段式廢水處理各處理階段實測值彙總所得之本土值計算；惟豬隻部分因與 2019 年發表之重測值差距過大，經農業部門溫室氣體排放清冊專家諮詢會議決議，清冊報告自 2021 年起，採用 2006 IPCC 指南預設之排放係數、並追溯更新自 1990 年起之歷年數據；而產乳牛糞尿處理部分，則維持仍採用本土排放係數。另外，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 指南預設之排放係數。

至於家禽之糞便處理部分，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；另我國自 1998 年投入研究以來，研究人員在禽糞堆肥處理方面，發表多篇白色肉雞、有色肉雞及蛋雞之報告，並經農業部召開農業部門清冊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，計算我國畜禽糞尿處理甲烷排放量，為各畜種排放係數乘上年度活動數據之加總（公式 5.3.1）。產乳牛及家禽之排放係數計算方法經農業部門溫室氣體排放清冊專家諮詢會通過後，採用 2006 IPCC 指南方法 3 (Tier 3)；其他畜種則採用 2006 IPCC 指南方法 1 (Tier 1)計算。

公式 5.3.1：

畜禽糞尿處理之甲烷總排放量（千公噸二氧化碳當量/年）

$$=\Sigma_i \ (EF_i \times N_i \times 28 \times 10^{-6})$$

EF_i：畜禽種類 i 糞尿處理甲烷的排放係數（公斤甲烷/頭（隻）/年）

Ni：畜禽種類 i 年度活動數據（頭（隻））

28：甲烷排放量換算為二氧化碳當量所使用之甲烷全球暖化潛勢(GWP)

i：畜禽種類，分別為產乳牛、其他牛、水牛、山羊、豬（所有豬）、白色肉雞、有色肉雞及蛋雞。

(2)排放係數

我國自 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、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；至於白色肉雞及有色肉雞等生命週期未達一年或全年期間飼養量較不一致者，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。有關我國畜禽糞尿處理排放甲烷之係數及引用說明詳如表 5.3.1。

排放係數異動部分，2019 年主要修正豬隻部分。有關豬隻糞尿處理甲烷之排放係數，因 2003 年發表之本土值與 2019 年發表之重測值差距過大，經 2020 年 2 月 7 日及 10 月 26 日召開 2 次農業部門清冊專家諮詢會議討論決議，清冊報告自 2021 年起，採用 2006 IPCC 指南預設之排放係數、並追溯更新自 1990 年起之歷年數據，未來仍將加強豬隻糞尿處理之甲烷本土排放係數之研究，並俟取得相關專家共識後再據以修正為本土值。

(3)活動數據

同表 5.2.2。

表 5.3.1 畜禽糞尿處理排放甲烷之係數表

	細分類		甲烷排放係數(CH_4 EF)			
			係數	單位	參考文獻來源	不確定性
畜禽糞尿處理	牛(Cattle)	產乳牛(Dairy Cows)	4.898	公斤/頭/年	(Su et al.,2003)	±4.7%
		其他牛(Other Cattle)	1.0	公斤/頭/年	2006 IPCC	±30.0%
	水牛(Buffalo)		2.0	公斤/頭/年	2006 IPCC	±30.0%
	山羊(Goats)		0.2	公斤/頭/年	2006 IPCC	±30.0%
	豬(Swine)		5	公斤/頭/年	2006 IPCC	±30.0%
	家禽 (Poultry)	a.白色肉雞	4.76×10^{-3}	公斤/隻/生命週期	（王淑音等人，2001）	±13.9%
		b.有色肉雞	4.76×10^{-3}	公斤/隻/生命週期	（王淑音等人，2001）	±13.9%
		c.蛋雞	9.99×10^{-3}	公斤/隻/年	（王淑音與馬維君，2002）	±30.4%

備註：1.產乳牛：包括泌乳牛、乾乳牛。
2.其他牛：包括黃牛、雜種牛、肉用乳牛及未產女牛。
3.其他牛、水牛、山羊及豬採用 2006 IPCC 指南方法 1(Tier 1)之計算。
4.產乳牛、白色肉雞、有色肉雞及蛋雞採用 2006 IPCC 指南方法 3(Tier 3)之計算。
5.IPCC 預設排放係數之選用，以年均溫攝氏 23 度之資料為主。

資料來源：1.Su, J.J., Liu, B.Y. and Chang, Y. C., Emission of greenhouse gas from livestock waste and wastewater treatment in Taiwan, Agriculture Ecosystem & Environment 95, 253-263, 2003.
2.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。
3.王淑音、馬維君，蛋雞糞尿處理之溫室氣體排放，華岡農科學報，10：1-14，2002。

(4)排放量

2023 年我國畜禽糞尿處理的甲烷排放量為 819 千公噸二氧化碳當量，其他各年如圖 5.3.1 及表 5.3.2。我國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，並換算為二氧化碳當量後再予以加總所得。

2023 年我國畜禽糞尿處理的甲烷排放量為 819 千公噸二氧化碳當量，相較於 1990 年（1,246 千公噸二氧化碳當量）、2005 年（1,071 千公噸二氧化碳當量）及 2022 年（821 千公噸二氧化碳當量）排放量減少。自 1990 年起農業部門整體溫室氣體排放呈逐年下降趨勢，主要受到加入 WTO 後農業生產結構調整及施肥管理改善影響，另 1996 至 1997 年間口蹄疫疫情亦顯著降低畜牧排放量，直至 2013 年後趨於穩定，隨短暫市場現象稍有波動。

(5)完整性

我國豬、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，惟目前清冊僅產乳牛完整呈現各處理階段所排放之溫室氣體量，及固液分離後所產出畜糞渣另行堆肥化之溫室氣體排放量；至於主要畜種—豬，其糞尿之溫室氣體反因近期與早期研究所得之排放係數差距過大、有待後續研究查驗，因此以 IPCC 預設排放係數計算排放量，致無法呈現我國豬隻糞尿處理甲烷排放之本土特性。另對於我國飼養量相對較少之山羊及水牛，除非未來飼養畜種類或數量有重大轉變，否則預期仍不會有相關研究。

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業部出版之農業統計年報，依 2006 IPCC 指南設定不確定性為 ±5%；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，惟如本土係數無法計算 CV%者，就引用 2006 IPCC 不確定性預設值；至於直接使用 2006 IPCC 排放係數，則逕行引用 2006 IPCC 不確定性數值。

依據 2006 IPCC 指南，畜牧業溫室氣體排放量不確定性之計算，主要採用 IPCC 建議之誤差傳播法演算。各類畜禽種類分項之不確定性，則以誤差傳播法中之乘法規則計算，即以排放係數不確定性平方加上活動係數不確定性平方後、再開根號之所得（公式 5.3.2）。至於畜禽糞尿處理甲烷排放總量之不確定性，則以誤差傳播法中之加法規則計算（公式 5.3.3），即各畜禽排放量與相乘不確定性相乘數平方之總和開根號、再除以總排放量之所得。經計算後，2023 年糞尿處理甲烷排放量之不確定性為±27.67%。

公式5.3.2：

$$\mathbf{U}_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \cdots + U_n^2}$$

U_{total}：不確定性之總和（乘法規則）

U_1, U_2, U_n：不同變量的不確定性

公式 5.3.3：

$$\mathbf{U}_{total} = \frac{\sqrt{(\boldsymbol{U_1} \times \boldsymbol{E_1})^2 + \cdots + (\boldsymbol{U_n} \times \boldsymbol{E_n})^2}}{\boldsymbol{E_1} + \boldsymbol{E_2} + \cdots + \boldsymbol{E_n}}$$

U_{toal}：不確定性之總和（加法規則）

U_1,U_2,U_n：不同變量的不確定性

E_1,E_2,E_n：不同變量

(2)時間序列的一致性

豬隻糞尿處理甲烷之排放係數於2019年資料計算進行修正，修正係數回溯更新歷年排放量，故1990年至2023年排放係數皆維持一致；此外，所有項目之活動數據來源及計算方法由1990年至2023年亦皆維持一致。

4.特定排放源的 QA/QC 及查證

同章節 5.2「畜禽腸胃發酵」(3.A)之說明。

5.特定排放源的重新計算

蘇忠楨教授於2018年發表論文指出，國內豬隻糞尿處理甲烷排放係數為 14.38（公斤/頭/年）[6]。周明顯教授及張筱瑜助理教授提供「豬牛糞尿處理溫室氣體排放係數本土值之建立-112 年豬牛糞尿處理」資料，豬隻糞尿處理甲烷排放係數約落於9~16(kg/head/yr)區間。經 2023 年 11 月 7 日及 2024 年 11 月 12 日專家諮詢會議中委員亦均認為豬隻糞尿處理部分現行清冊有低估情形[7,8]。爰經討論，為強化豬隻糞尿處理甲烷排放係數的本土代表性，委員會建議，待周與張之豬隻糞尿處理溫室氣體排放係數論文發表後將討論係數修正。此外，20 年來畜牧管理方式已經有極大的變化，「家禽糞尿處理溫室氣體排放係數本土值之更新」計畫成果，目前白色肉雞糞尿處理甲烷排放係數為 2,531.1(mg/head/life cycle)，與以往有很大的差異[9]。因此，為了精進並掌握畜牧部門碳排放數據，以利後續可明確計算並掌握各項減碳效益之基礎數據，亦將於論文發表後討論進行係數修正。

6.特定排放源的改善計畫

目前在豬糞尿處理部分，依 2006 IPCC 指南計算方式，僅計算糞尿於廢水處理過程排放之溫室氣體量，並未將我國大部分養豬場在廢水處理前先將豬糞尿水固液分離後產出之糞渣、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。此外，農業部針對歷年來持續推動畜禽糞堆肥改善及畜牧糞尿水施灌農作等相關工作，各畜禽糞尿處理產生之甲烷，也會隨之變化。後續將針對該部分其溫室氣體排放之研究成果，建立、修正或更新本土排放係數。

有關糞尿處理部分之減量方案有豬隻糞尿處理之沼氣利用及豬糞渣堆肥減碳等方向。養豬場廢水處理所產生之沼氣（甲烷）進行仔豬保溫或發電等再利用措施，有助於畜牧產業部分溫室氣體之減量。依

[6] Su, J.J. and Chen, Y.J., Monitoring of greenhouse gas emissions from farm-scale anaerobic piggery waste-water digesters, The Journal of Agricultural Science 156, 739–747, 2018.

[7] 農業部，2023 年「畜牧業溫室氣體排放清冊及趨勢探討」(112 農科-2.4.2-牧-U1(1))之第 2 次專家諮詢會會議紀錄，2023。

[8] 農業部，2024 年「畜牧業溫室氣體排放清冊及趨勢探討」(113 農科-2.3.2-牧-U1(1))之第 2 次專家諮詢會會議紀錄，2024。

[9] 農業部，2024 年「家禽糞尿處理溫室氣體排放係數本土值之更新」(113 農科-12.1.1-牧-01)之農業部 113 年度科技計畫研究報告，臺北，2024。

2006 IPCC 指南計算方式顯示，如每頭豬隻糞尿處理所產沼氣投入再利用時可減排 0.027 公噸二氧化碳當量，若以 1 場 10,000 頭豬隻計算時，其沼氣再利用減碳量可達 0.30 千公噸二氧化碳當量，若將沼氣利用推廣至 2,500,000 頭豬隻計算時，其沼氣再利用減碳量可達 74.66 千公噸二氧化碳當量[10]。畜牧糞尿水施灌農作之再利用亦為後續減碳的重點項目之一，依據環境部全國畜牧糞尿資源化網站顯示，2023 年畜牧糞尿施灌農作共減碳 217.2 千公噸二氧化碳當量。然而，畜牧糞尿施灌農作計算方法學尚需與 IPCC 計算糞尿處理排放量之方法學差異進行釐清。因此，畜牧糞尿處理減量部份將俟與相關部門確認後再進行農業部門之抵扣計算。

此外，農業部歷年來持續推動減少畜禽糞量等飼養改善作等相關工作。畜禽糞尿處理產生的甲烷，也會隨之變化。後續將針對該部分溫室氣體排放之研究成果，建立、修正或更新本土排放係數。

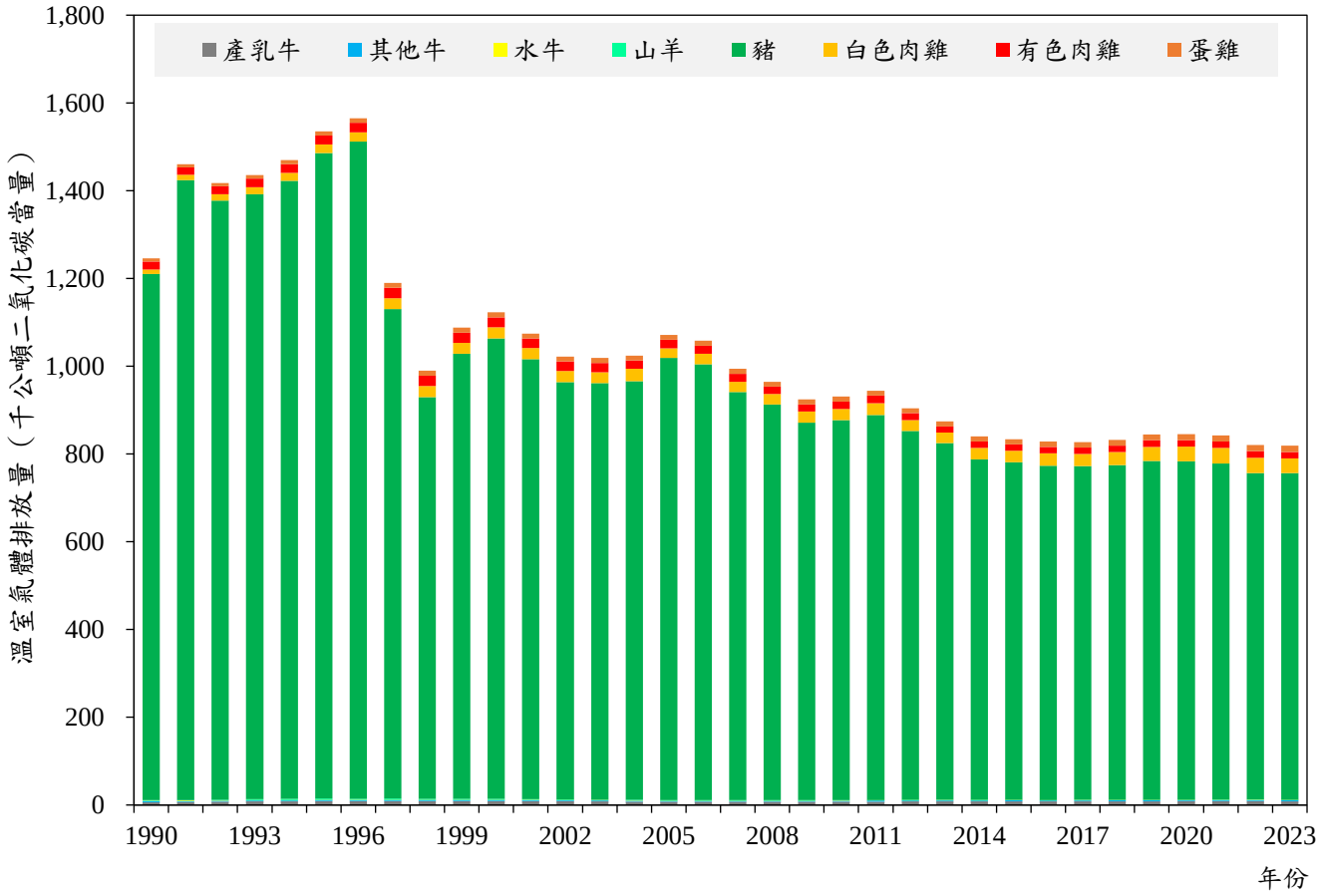

圖 5.3.1 1990 年至 2023 年畜禽糞尿處理之甲烷排放量

[10] 設定沼氣甲烷濃度為 63%，沼氣再利用百分比 21%，甲烷密度 0.656 kg/m^3 (gas, 25°C, 1 atm)，甲烷熱值 8,000 kcal/m^3，沼氣密度 1.092 kg/m^3 (gas, 25°C, 1 atm)進行計算。

表 5.3.2 1990 年至 2023 年畜禽糞尿處理之甲烷排放量

（單位：千公噸二氧化碳當量）

細分類 / 年份	產乳牛	其他牛	水牛	山羊	豬	白色肉雞	有色肉雞	蛋雞	合計
1990	6	2	1	1	1,199	10	18	7	1,246
1991	7	2	1	1	1,412	12	17	7	1,460
1992	7	2	0.9	1	1,366	14	18	8	1,418
1993	8	3	0.9	2	1,378	16	20	8	1,436
1994	8	3	0.8	2	1,409	18	20	9	1,470
1995	9	2	0.7	2	1,471	20	20	9	1,535
1996	9	2	0.6	2	1,498	21	22	10	1,565
1997	9	3	0.5	2	1,115	25	24	11	1,190
1998	9	3	0.5	2	915	25	23	11	990
1999	9	3	0.5	2	1,014	25	23	11	1,088
2000	9	2	0.4	2	1,049	25	23	11	1,123
2001	9	2	0.4	2	1,003	25	22	11	1,074
2002	9	2	0.3	1	951	25	22	11	1,022
2003	8	2	0.3	1	949	25	21	11	1,019
2004	7	2	0.3	1	955	28	19	11	1,024
2005	7	2	0.2	1	1,007	22	19	11	1,071
2006	7	2	0.2	2	993	24	19	11	1,058
2007	7	3	0.2	1	930	24	18	11	994
2008	7	2	0.2	1	902	24	16	11	965
2009	7	2	0.2	1	860	25	16	11	924
2010	8	2	0.2	1	866	26	17	11	931
2011	8	2	0.2	1	877	27	17	11	944
2012	8	2	0.2	1	841	25	16	11	904
2013	8	2	0.1	1	813	24	14	11	874
2014	8	2	0.1	1	776	26	15	12	840
2015	8	2	0.1	1	769	26	14	12	834
2016	8	2	0.1	1	762	28	15	12	829
2017	8	2	0.1	1	761	28	14	13	827
2018	8	2	0.1	1	763	30	15	13	832
2019	8	2	0.1	1	772	32	15	13	844
2020	9	2	0.1	1	772	33	15	14	845
2021	9	3	0.1	1	766	36	15	14	842
2022	9	3	0.1	1	744	35	15	14	821
2023	8	3	0.1	1	745	34	15	14	819

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。我國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預設糞尿處理方式並計算糞尿中氮含量，才能演算出氧化亞氮之排放係數。惟我國山羊及水牛因飼養量少，缺乏相關先期研究，致無法演算氧化亞氮排放係數，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，我國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（公式 5.3.4）。

公式 5.3.4：

畜禽糞尿處理之氧化亞氮總排放量
（千公噸二氧化碳當量/年）

$$=\Sigma_i (EF_i \times N_i \times 265 \times 10^{-6})$$

EF_i：畜禽種類 i 糞尿處理氧化亞氮的排放係數（公斤氧化亞氮/頭（隻）/年）

Ni：畜禽種類 i 年度活動數據（頭（隻））

265：氧化亞氮排放量換算為二氧化碳當量所使用之氧化亞氮全球暖化潛勢 (GWP)

i：畜禽種類，分別為產乳牛、豬、白色肉雞、有色肉雞及蛋雞。

(2)排放係數

我國自 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，產乳牛及家禽之排放係數計算經農業部門溫室氣體排放清冊專家諮詢會通過後，採用 2006 IPCC 指南方法 3 (Tier 3)；豬排放係數計算則採用 2006 IPCC 指南方法 1 (Tier 1)。至於山羊、鵝及鴨部分因無國內研究，尚未計入。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；至於如白色肉雞及有色肉雞生命週期未達一年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 5.3.3 所示。

排放係數異動部分，2019 年主要修正豬隻部分。有關豬隻糞尿處理排放氧化亞氮之排放係數，因 2003 年發表之本土值與 2019 年發表之重測值差距過大，經 2020 年 2 月 7 日及 10 月 26 日召開 2 次農業部門清冊專家諮詢會議討論決議，清冊報告自 2021 年起，採用 2006 IPCC 指南預設之排放係數、並追溯更新自 1990 年起之歷年數據，未來仍將加強豬隻糞尿處理之氧化亞氮本土排放係數之研究，並俟取得相關專家共識後再據以修正為本土值。

(3)活動數據

同表 5.2.2。

(4)排放量

2023 年我國畜禽糞尿處理的氧化亞氮排放量為 131 千公噸二氧化碳當量，其他各年如圖 5.3.2 及表 5.3.4。我國畜禽糞尿處理過程中氧化亞氮排放量之計算，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、並換算為二氧化碳當量後，再予以加總所得。

2023 年我國畜禽糞尿處理的氧化亞氮排放量以相較 2005 年（136 千公噸二氧化碳當量）排放量略減，但是卻略高於 1990 年（129 千公噸二氧化碳當量）及 2022 年（130 千公噸二氧化碳當量）排放量。我國畜禽糞尿處理中氧化亞氮主要來源為家禽飼養。分析我國 1990 年至 2023 年畜牧產業之畜禽糞尿處理中氧化亞氮排放趨勢，1990 年適逢國內畜牧業蓬勃發展，因此畜禽飼養量逐年攀升，畜禽糞尿處理中氧化亞氮排放量隨之增加。1997 年國內養豬產業受口蹄疫疫情影響，雖國內豬隻畜養量陡降，然家禽飼養量持續增加，畜禽糞尿處理之氧化亞氮排放量仍呈增加趨勢，至 1999 年趨於穩定；2015 年後又隨家禽飼養量增加而提升。

(5)完整性

我國豬、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處理，惟目前清冊僅產乳牛完整呈現各處理階段所排放之溫室氣體量，以及固液分離後所產出畜糞渣另行堆肥化之溫室氣體排放量；至主要畜種—豬，其糞尿之溫室氣體反因近期與早期研究所得之排放係數差距過大、有待後續研究查驗，因此仍以 IPCC 預設排放係數計算排放量，致無法呈現我國豬隻糞尿處理氧化亞氮排放之本土特性。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 畜禽糞尿處理排放氧化亞氮之係數表

	細分類		氧化亞氮排放係數(N_2O EF)			
			係數	單位	參考文獻來源	不確定性
糞尿處理	牛(Cattle)	產乳牛(Dairy Cows)	1.10×10^{-2}	公斤/頭/年	（Su et al., 2003）	±58.3%
	豬(Swine)		0.04	公斤/頭/年	（2006 IPCC）	±50.0%
	家禽(Poultry)	白色肉雞	6.43×10^{-6}	公斤/隻/生命週期	（王淑音等人，2001）	±13.1%
		有色肉雞	6.43×10^{-6}	公斤/隻/生命週期	（王淑音等人，2001）	±13.1%
		蛋雞	5.50×10^{-3}	公斤/隻/年	（王淑音與馬維君，2002）	±21.8%

備註：1.產乳牛：包括泌乳牛、乾乳牛。

2.豬採用 2006 IPCC 指南方法 1 (Tier 1)之計算。

3.產乳牛、白色肉雞、有色肉雞及蛋雞採用 2006 IPCC 指南方法 3 (Tier 3)之計算。

4.IPCC 預設排放係數之選用，以年均溫攝氏 23 度之資料為主。

資料來源：1.Su, J.J., Liu, B.Y. and Chang, Y. C., Emission of greenhouse gas from livestock waste and wastewater treatment in Taiwan, Agriculture Ecosystem & Environment 95, 253-263, 2003.

2.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。

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

表 5.3.4 1990 年至 2023 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）

細分類 / 年份	產乳牛	豬	白色肉雞	有色肉雞	蛋雞	合計
1990	0.1	91	0.1	0.2	38	129
1991	0.1	107	0.2	0.2	39	146
1992	0.2	103	0.2	0.2	41	145
1993	0.2	104	0.2	0.3	42	147
1994	0.2	107	0.2	0.3	47	154
1995	0.2	111	0.3	0.3	48	160
1996	0.2	113	0.3	0.3	53	167
1997	0.2	84	0.3	0.3	57	143
1998	0.2	69	0.3	0.3	59	129
1999	0.2	77	0.3	0.3	60	137
2000	0.2	79	0.3	0.3	60	140
2001	0.2	76	0.3	0.3	58	135
2002	0.2	72	0.3	0.3	58	131
2003	0.2	72	0.3	0.3	59	131
2004	0.2	72	0.4	0.2	57	130
2005	0.2	76	0.3	0.2	59	136
2006	0.2	75	0.3	0.2	60	136
2007	0.2	70	0.3	0.2	59	130
2008	0.2	68	0.3	0.2	60	129
2009	0.2	65	0.3	0.2	59	125
2010	0.2	66	0.3	0.2	59	125
2011	0.2	66	0.3	0.2	59	126
2012	0.2	64	0.3	0.2	59	123
2013	0.2	62	0.3	0.2	60	122
2014	0.2	59	0.3	0.2	61	121
2015	0.2	58	0.3	0.2	62	121
2016	0.2	58	0.4	0.2	64	122
2017	0.2	58	0.4	0.2	65	123
2018	0.2	58	0.4	0.2	67	125
2019	0.2	58	0.4	0.2	70	129
2020	0.2	58	0.4	0.2	71	130
2021	0.2	58	0.5	0.2	71	130
2022	0.2	56	0.4	0.2	73	130
2023	0.2	56	0.4	0.2	74	131

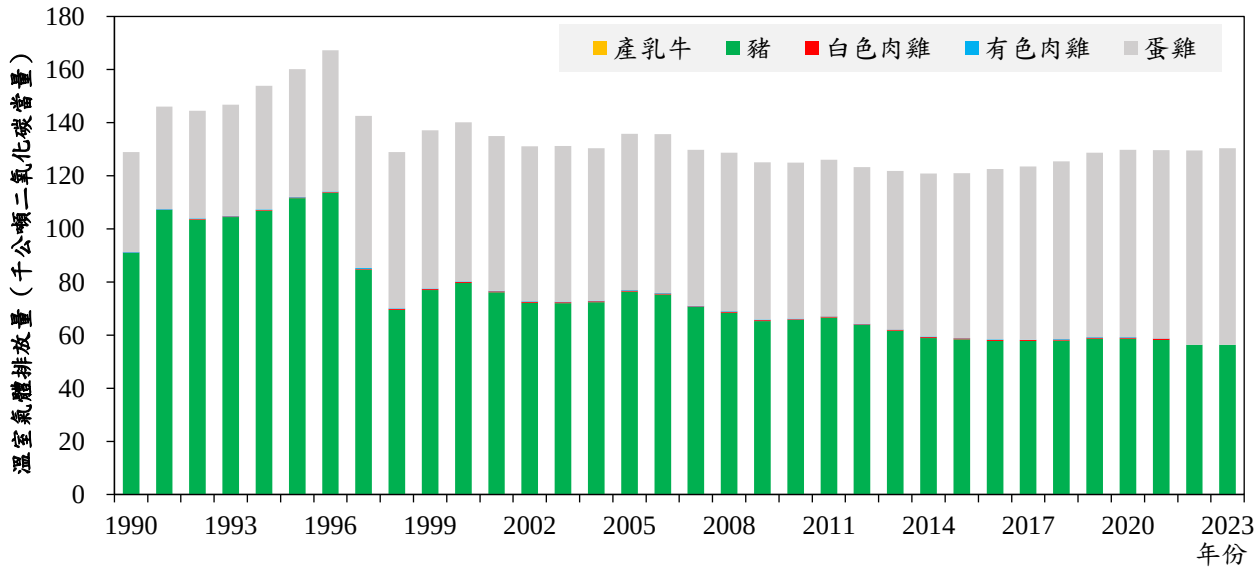

圖 5.3.2 1990 年至 2023 年畜禽糞尿處理之氧化亞氮排放量

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業部出版之農業統計年報，依 2006 IPCC 指南設定不確定性為 ±5%；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，惟如本土係數無法計算 CV%者，就引用 2006 IPCC 指南不確定性之參考值；至直接使用 2006 IPCC 指南之排放係數，則逕行引用 2006 IPCC 指南不確定性數值。

依據 2006 IPCC 指南，畜牧產業之溫室氣體排放量不確定性建議以誤差傳播法演算。各畜禽種類分項之不確定性，則以乘法規則計算（公式 5.3.5），即以排放係數不確定性平方加上活動係數不確定性平方後、再開根號之所得。至畜禽糞尿處理氧化亞氮排放總量之不確定性，則以加法規則計算（公式 5.3.6），即各類畜禽排放量與相乘不確定性相乘數平方之總和開根號、再除以總排放量之所得。經計算後 2023 年糞尿處理氧化亞氮排放量之不確定性為±25.02%。

公式 5.3.5：

$$\mathbf{U}_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \cdots + U_n^2}$$

U_{total}：不確定性之總和（乘法規則）

U_1,U_2,U_n：不同變量的不確定性

公式 5.3.6：

$$\mathbf{U}_{total} = \frac{\sqrt{(U_1 \times E_1)^2 + \cdots + (U_n \times E_n)^2}}{E_1 + E_2 + \cdots + E_n}$$

U_{total}：不確定性之總和（加法規則）

U_1,U_2,U_n：不同變量的不確定性

E_1,E_2,E_n：不同變量

(2)時間序列的一致性

豬隻糞尿處理氧化亞氮之排放係數於 2019 年資料計算進行修正，修正係數回溯更新歷年排放量，故 1990 年至 2023 年排放係數皆維持一致；此外，所有項目之活動數據來源及計算方法由 1990 年至 2023 年亦皆維持一致。

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

蘇忠楨教授於 2018 年發表論文指出，國內豬隻糞尿處理氧化亞氮排放係數為 0.055（公斤/頭/年）。周明顯教授及張筱瑜助理教授提供「豬牛糞尿處理溫室氣體排放係數本土值之建立-112 年豬牛糞尿處理」先期估算資料，豬隻糞尿處理氧化亞氮排放係數約為 0.162kg/head/yr。經 2023 年 11 月專家諮詢會議中委員亦均認為豬隻糞尿處理部分現行清冊有低估情形。爰經討論，為強化豬隻糞尿處理氧化亞氮排放係數的本土代表性，委員會建議，待周與張之豬隻糞尿處理溫室氣體排放係數論文發表後將討論係數修正。此外，20 年來畜牧管理方式已經有極大的變化，「家禽糞尿處理溫室氣體排放係數本土值之更新」計畫成果，目前白色肉雞糞尿處理氧化亞氮排放係數為 106.0 (mg/head/life cycle)，與以往有很大的差異。因此，為了精進並掌握畜牧部門碳排放數據，以利後續可明確計算

並掌握各項減碳效益之基礎數據，亦將於論文發表後討論進行係數修正。

6.特定排放源的改善計畫

畜禽糞尿處理氧化亞氮的蛋雞排放量與白色肉雞及有色肉雞有較多的差異，為了精進並掌握畜牧部門碳排放數據，以利後續可明確計算，該部分的係數將逐步確認與修正。目前依 2006 IPCC 指南計算方式，豬僅計算糞尿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。此外，農業部歷年來持續精進畜禽糞處理，以及透過精準營養減少畜禽糞量及降低畜禽糞尿含氮量，等改善作等相關工作。畜禽糞尿處理產生的氧化亞氮，也會隨之變化。後續將針對該部分溫室氣體排放之研究成果，建立、修正或更新本土排放係數。

5.4 水稻種植(3.C)

種植水稻在湛水的狀態下會形成厭氧環境，使有機物被微生物分解而產生甲烷，主要經由水稻植株擴散至大氣中。影響水稻田中的甲烷排放量的主要因素包含氣候、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。陸稻種植因無湛水，土壤通氣較佳，不易形成厭氧條件故無明顯甲烷釋出，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

因我國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。我國水稻種植方式主要為耕作前 30 日內將田間開始浸水，以插秧移植為主，灌溉採間歇灌溉管理，種植期間土壤乾燥排水一次以上，水稻稻桿多於聯合收穫機採收時一併切碎於田間，再以耕耘機將殘體翻入。我國種植水稻因各地氣候、土壤、肥料和農業操作皆有其區域特性（農業部，1995[11]；Yang et al., 1994[12]），甲烷排放量也因上述因子有所變異。因此本項排放源之估算，採用本土排放係數並參考相關文獻（Yang et al., 2003[13]、陳琦玲等人，2019[14]），將我國依地理特性，分為八個區域。

2.方法論議題

(1)計算方法

我國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 2006 IPCC 指南方法 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：

水稻種植每年產生的甲烷排放量（$CH_{4水稻}$，千公噸/年）

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

$EF_{i,j,k}$：在 i,j,k 條件下各區各期水稻田排放係數（公斤/公頃/期）

$A_{i,j,k}$：在 i,j,k 條件下各區各期水稻種植面積（公頃/年）

$t_{i,j,k}$：在 i,j,k 條件下各區各期水稻種植時間（日）

$_{i,j,k}$：表示不同的生態系統、水分管理與有機添加物的種類與數量及其他排放因子

(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，文中將排放係數以各代表性地區各期作生長日數之中位數值作為代表，一期作 136 天（約 110 至 140 天），二期作 124 天（約 90 至 130 天）

[11] 行政院農業委員會（現為農業部），台灣農家要覽，1995。

[12] 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, Journal of the Biomass Energy Sources of China, n.13 p.68-87, 1994.

[13] 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.

[14] 陳琦玲、廖崇億、胡正宏、陳孟妘、林旻頡、蔡徵霖、莊秉潔、廖大經、王瑞章、張錦興，臺灣中部水稻田甲烷排放量測與估算，亞熱帶生態學學會、臺灣長期生態研究網、臺灣通量研究網聯合年會，2019。

將文獻中排放係數單位毫克/平方公尺/時換為期作排放係數公斤/公頃/期。惟宜蘭、苗栗地區之二期作排放係數偏高，依農業部門專家委員意見，以其他地區平均值 3.89 毫克/平方公尺/時計算，換算期作排放係數為 115.7 公斤/公頃/期。另依據陳琦玲等人（2019）[15]以渦流協變方法連續量測臺中霧峰與嘉義溪口甲烷排放量更新臺中、彰化、南投與雲林、嘉義、臺南地區原來引用密閉罩法(Yang et al., 2003)[16]量測的排放係數。

(3)活動數據

歷年種植面積係依據農業部出版之「農業統計年報」之水稻收穫面積，依前述八分區，並分為兩期作，彙整如表 5.4.2。

表 5.4.1 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[1]（毫克/平方公尺/時）	日排放係數（公斤/公頃/天）	期作排放係數[2]（公斤/公頃/期）
臺北、基隆	一期稻	2.12	0.5088	69.1968
	二期稻	4.85	1.1640	144.3360
宜蘭	一期稻	0.69	0.1656	22.5216
	二期稻	3.89	0.9331	115.7069
桃園、新竹	一期稻	0.89	0.2136	29.0496
	二期稻	4.15	0.9960	123.5040
苗栗	一期稻	2.92	0.7008	95.3088
	二期稻	3.89	0.9331	115.7069
臺中、彰化、南投	一期稻		0.2713	36.9000
	二期稻		1.4565	180.6000
雲林、嘉義、臺南	一期稻		0.4419	60.1000
	二期稻		1.4113	175.0000
高雄、屏東	一期稻	0.82	0.1968	26.7648
	二期稻	2.94	0.7056	87.4944
花蓮、臺東	一期稻	2.11	0.5064	68.8704
	二期稻	4.21	1.0104	125.2896

備註：1.排放係數為引用自 Yang 等人(2003)，期作排放係數經面積、日數換算而得，臺中、彰化、南投及雲林、嘉義、臺南兩區除外。

2.臺中、彰化、南投及雲林、嘉義、臺南兩區之期作排放係數，直接引用自陳等人(2019)，而此兩區日排放係數為期作排放係數回推。

3.宜蘭、苗栗兩區之二期作排放係經農業部門內部審議改以 Yang 等人(2003)之平均值取代。

資料來源：1.陳琦玲、廖崇億、胡正宏、陳孟妘、林旻頡、蔡徵霖、莊秉潔、廖大經、王瑞章、張錦興，臺灣中部水稻田甲烷排放量測與估算，亞熱帶生態學學會、臺灣長期生態研究網、臺灣通量研究網聯合年會，2019。

2. 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.

[15] 陳琦玲、廖崇億、胡正宏、陳孟妘、林旻頡、蔡徵霖、莊秉潔、廖大經、王瑞章、張錦興，臺灣中部水稻田甲烷排放量測與估算，亞熱帶生態學學會、臺灣長期生態研究網、臺灣通量研究網聯合年會，2019。

[16] Yang, S. S., Liu, C. M., Lai, C. M., and Liu, Y. L., Estimation of Methane and Nitrous Oxide Emission from Animal Production Sector in Taiwan during 1990-2000, Chemosphere, 2003.

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	3,857	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	2,989	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	2,423	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	2,061	674	12,329	2,852	29,806	28,201	11,370	10,807	57,791	55,872	73,391	57,015	13,401	12,084	11,641	11,632
1994	1,445	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	1,540	534	12,043	1,139	27,035	26,339	10,348	10,500	53,314	51,121	69,293	53,622	12,354	10,280	11,644	12,372
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	1,045	422	12,265	110	27,383	25,268	10,067	9,571	51,780	47,421	73,189	51,760	11,457	8,265	14,239	13,446
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	0	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	0	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	0	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	42,975	37,076	61,914	40,831	10,842	1,421	15,347	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

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
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	17,440	7,446	6,669	5,241	43,318	35,689	63,616	39,703	10,580	1,748	15,618	14,893
2017	383	243	11,218	0	18,062	8,131	5,633	5,109	43,666	35,098	64,871	39,667	10,403	1,658	15,582	14,952
2018	387	249	11,188	0	18,878	6,963	5,515	5,030	43,410	34,497	64,042	38,343	10,517	1,576	15,852	15,059
2019	387	242	11,192	0	18,168	7,147	6,192	5,055	43,480	34,030	63,987	37,649	10,441	1,339	15,895	14,864
2020	380	232	11,121	0	14,463	7,909	5,435	5,129	42,346	33,889	60,315	37,858	10,240	1,281	15,592	15,595
2021	330	234	11,277	0	6,525	6,824	3,456	4,917	34,952	32,429	44,506	35,799	10,631	1,454	15,698	14,990
2022	367	225	11,170	0	16,407	4,310	4,725	4,011	42,397	26,254	55,619	30,671	10,956	1,230	15,485	14,873
2023	361	212	11,128	0	15,152	6,360	6,004	4,703	41,240	30,942	43,497	21,528	10,909	1,249	14,965	14,160

資料來源：農業部，農業統計年報，2024。

(4)排放量

將各區之排放係數分別乘上各區各期作之水稻收穫面積，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，二氧化碳當量係以甲烷轉換為二氧化碳當量之全球暖化潛勢轉換係數 28，進行計算。歷年水稻種植甲烷排放量如圖 5.4.1 與表 5.4.3 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、2005 及 2022 年相比，2023 年甲烷排放量減少約 51.04%、17.33%及 6.82%。2004、2010、2015 及 2021 年恰逢國內缺水情形，部分地區一期作水稻停耕導致水稻耕種面積減少，2022 年因推動基期年農地「稻作四選三」措施及鼓勵轉作飼料用玉米等政策影響，使稻作種植面積亦較往年減少，進而降低甲烷排放量。2023 年雲嘉南地區因水庫總蓄水量偏低而有休耕情況及小犬颱風影響造成收穫面積減少，故使甲烷排放量與 2022 年相比略減。

(5)完整性

本項排放源所引用之活動數據農業統計年報中水稻收穫面積已將我國種植水稻所涉面積完整記錄。

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 5.4.5 所示。

因期作排放係數（公斤/公頃/期）在計算過程中係將排放係數（毫克/平方公尺/時）乘以不同期作之種植日數期換算，種植日期以一期作 136 天，二期作 124 天設定，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。活動數據為水稻收穫面積，為農業部統計資料，但未記錄不確定性，依 2006 IPCC 指南設定不確定性為 5%。全球暖化潛勢(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值，不另考慮不確定性。

因多筆排放係數不確定性大於 60%，部分參數非常態分佈，依據 2006 IPCC 指南建議，以蒙地卡羅方法進行評估，估算甲烷排放量不確定性，各基本參數數值模擬次數為 1,000 次。相關參與結果數如表 5.4.5 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 -20.95~19.26%。

(2)時間序列的一致性

清冊所需自 1990 年開始之水稻面積皆透過農業統計年報取得，活動數據來源於時間序列上具一致性，臺中、彰化、南投與雲林、嘉義、臺南兩地區之排放係數曾於 2020 年進行修正，皆有回溯更新過往排放量，故排放係數皆維持一致；計算方法亦維持一致。

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

活動數據主要來自農業部之農業統計調查資料，而農業部依據統計法、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。農業部門農糧產業部分（含 3.C、3.D、3.E、3.F、3.G、3.H）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；農糧部門清冊初稿完成後，再邀請專家學者進行部門內審議，審議數據之正確性，並提供改善建議，經修正審查定稿後，完成農業部門溫室氣體排放清冊階段之 QA/QC 及查證。最後送環境部併同其他部門之清冊，辦理國家溫室氣體排放清冊之 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 5.4.4 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

2020 年依據（陳琦玲等人，2019）[17]以渦流協變方法連續量測臺中霧峰與嘉義溪口甲烷排放量更新臺中、彰化、南投與雲林、嘉義、臺南地區原來引用密閉罩法(Yang et al., 2003)[18]量測的排放係數，並重新計算臺中、彰化、南投與雲林、嘉義、臺南兩地區水稻甲烷排放量，並依國家溫室氣體排放清冊審議會 2016 年第 2 次委員會議專家會議將排放量回朔更新至 1990 年。

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 20 多年前以密閉罩法進行調查資料(Yang et al., 2003)，雖此方法在量測過程可能破壞自然狀態，造成量測誤差，但由於調查廣泛且資料多，仍具一定代表性，而為本清冊計算引用。2020 年農業部農業試驗所（以下簡稱農試所）已利用開放式甲烷分析儀量測臺中霧峰與嘉義溪口 2 處試驗田水稻種植期中產生之甲烷（陳琦玲等人，2019），已針對「臺中、彰化、南投」與「雲林、嘉義、臺南」兩地區之甲烷排放係數作修正，後續將持續調查其它地區水稻甲烷排放係數。

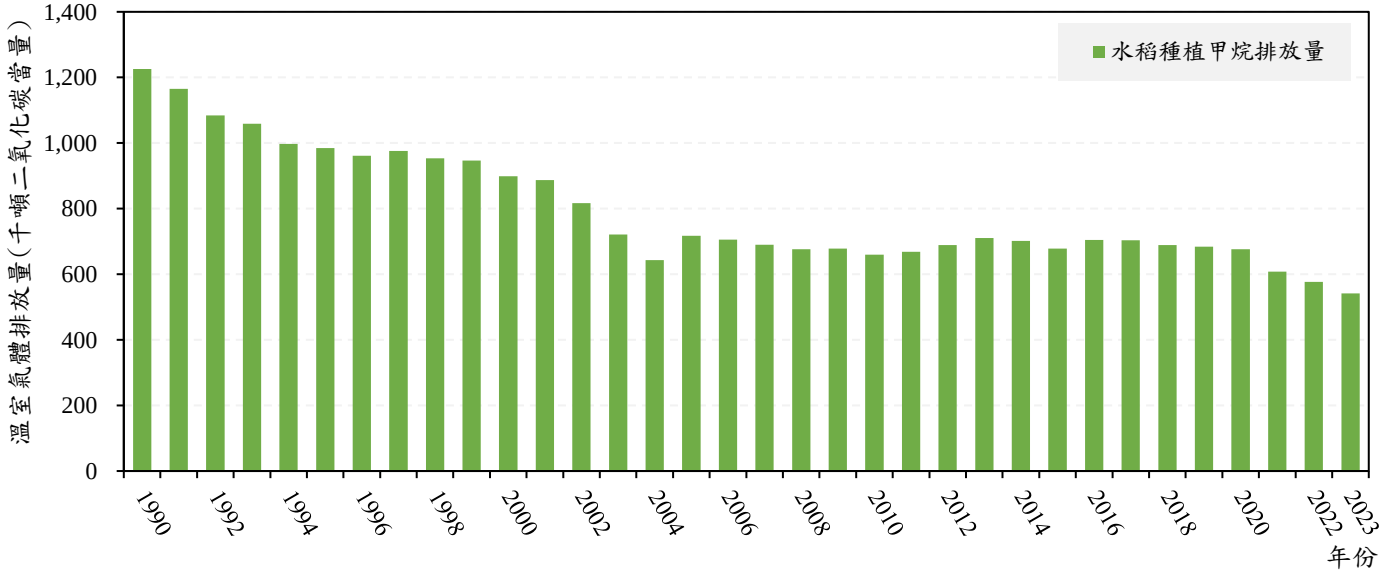

圖 5.4.1 1990 年至 2023 年水稻種植甲烷排放量

[17] 陳琦玲、廖崇億、胡正宏、陳孟妘、林旻頡、蔡徵霖、莊秉潔、廖大經、王瑞章、張錦興，臺灣中部水稻田甲烷排放量測與估算，亞熱帶生態學學會、臺灣長期生態研究網、臺灣通量研究網聯合年會，2019。

[18] 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.

表 5.4.3 歷年各區水稻田甲烷排放量

（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	總排放量
1990	14	26	135	80	383	454	62	71	1,226
1991	11	24	132	73	373	430	54	67	1,166
1992	8	18	126	70	357	392	46	66	1,084
1993	7	17	122	65	342	403	40	63	1,059
1994	5	14	110	64	326	377	38	64	998
1995	5	11	113	62	314	379	34	66	984
1996	4	11	106	59	306	370	35	70	961
1997	4	10	113	60	303	378	31	76	976
1998	4	8	110	58	293	377	29	75	953
1999	3	9	100	55	293	379	31	76	947
2000	3	8	89	51	281	362	28	75	899
2001	3	7	84	47	283	362	27	74	887
2002	3	7	63	43	270	337	23	71	816
2003	2	7	40	39	248	299	20	67	721
2004	2	6	30	32	241	247	17	67	643
2005	2	6	41	37	248	300	16	68	717
2006	2	6	35	34	240	306	13	70	706
2007	2	6	36	34	236	293	12	70	690
2008	2	6	34	33	230	289	12	71	676
2009	2	6	37	32	229	289	11	72	678
2010	2	6	37	28	232	266	12	77	659
2011	2	6	36	30	224	281	11	78	668
2012	2	6	36	31	227	297	11	79	688
2013	2	7	39	33	232	304	12	81	710
2014	2	7	40	34	225	301	11	81	702
2015	2	7	30	26	225	295	12	82	678
2016	2	7	40	35	225	302	12	82	705
2017	2	7	43	32	223	304	12	83	704
2018	2	7	39	31	219	296	12	83	689
2019	2	7	39	33	217	292	11	83	684
2020	2	7	39	31	215	287	11	85	677
2021	2	7	29	25	200	250	12	83	608
2022	2	7	28	26	177	244	11	82	576
2023	2	7	34	31	199	179	11	79	542

表 5.4.4 甲烷通量與排放量比較

國家	期作	排放係數(kg CH_4/ha)	灌溉管理	係數分類
日本 [1]	單期	49 ~ 247	單次排水	土壤類型
義大利 [2]	單期	250~330	單次或多次排水	灌溉類型、播種方式
臺灣 [3]	1 期作	64 (23 ~ 95)	多次排水	地區
	2 期作	116 (88 ~ 144)		地區
2019 IPCC 指南預設值	單期	134.47 (59.2 ~ 267.52)	單次或多次排水	全球

備註：排放係數為範圍或中位數（範圍）

資料來源：1.Ministry of the Environment of Japan, National Greenhouse Gas Inventory Report of Japan, Japan, 2018.

2.Institute for Environmental Protection and Research (ISPRA), Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2016 National Inventory Report, Italian, 2018.

3.Yang, S. S., Lai, C. M., Chang, H. L., Chang, E. H., and Wei, C. B., Estimation of methane and nitrous oxide emissions from paddy fields in Taiwan, Renewable Energy, 34, 1916-1922, 2009.

表 5.4.5 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	甲烷排放係數不確定性來源與值					排放量與不確定性	
			甲烷排放係數			耕作期差異	期作排放係數不確定性	排放量（2023 年）	不確定性
			平均值	標準差	範圍				
		%	毫克/平方公尺/時			天	%	千公噸二氧化碳當量	%
臺北基隆	一期稻	5.00	2.12	1.38	0.76 ~ 2.74	110 ~ 140	-55.90% ~ 16.61%	0.70	-56.40% ~ 17.11%
	二期稻	5.00	4.85	1.70	-	90 ~ 130	-73.52% ~ 51.93%	0.86	-73.33% ~ 52.38%
宜蘭	一期稻	5.00	0.69	0.11	-	110 ~ 140	-35.27% ~ 26.70%	7.02	-35.03% ~ 27.91%
	二期稻	5.00	3.89	0.94	-	90 ~ 130	-54.09% ~ 41.44%	0.00	-
桃園新竹	一期稻	5.00	0.89	0.05	-	110 ~ 140	-19.18% ~ 7.05%	12.32	-20.89% ~ 8.68%
	二期稻	5.00	4.15	1.32	-	90 ~ 130	-67.32% ~ 49.15%	21.99	-67.07% ~ 50.31%
苗栗	一期稻	5.00	2.92	0.83	-	110 ~ 140	-55.32% ~ 51.03%	16.02	-55.94% ~ 50.77%
	二期稻	5.00	3.89	0.94	-	90 ~ 130	-48.38% ~ 38.17%	15.24	-48.60% ~ 38.45%
臺中彰化南投	一期稻	5.00	1.13	6.08	0.92 ~ 1.26	110 ~ 140	-22.53% ~ 6.63%	42.61	-23.83% ~ 8.06%
	二期稻	5.00	6.07	24.04	5.86 ~ 6.15	90 ~ 130	-23.09% ~ 2.37%	156.47	-23.26% ~ 3.90%
雲林嘉義臺南	一期稻	5.00	1.84	5.97	1.32 ~ 2.36	110 ~ 140	-27.31% ~ 18.67%	73.20	-27.66% ~ 18.60%
	二期稻	5.00	5.88	1.00	-	90 ~ 130	-39.26% ~ 28.87%	105.49	-39.50% ~ 27.84%
高雄屏東	一期稻	5.00	0.82	-	0.02 ~ 13.16	101 ~ 135	-53.61% ~ 486.29%	11.24	-54.47% ~ 495.42%
	二期稻	5.00	2.94	-					
花蓮臺東	一期稻	5.00	2.11	1.46	–	110 ~ 140	-100.00% ~ 129.84%	28.86	-100.00% ~ 131.80%
	二期稻	5.00	4.21	2.64	–	90 ~ 130	-100.00% ~ 111.49%	49.67	-100.00% ~ 111.91%
總和								541.68	-20.95% ~ 19.26%

備註：「宜蘭」、「苗栗」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。「臺中、彰化、南投」、「雲林、嘉義、臺南」計算值、標準差、範圍等資料來源如陳琦玲(2019)。其餘計算值、標準差、範圍等資料來源如 Yang(2003)。

資料來源：1.陳琦玲、廖崇億、胡正宏、陳孟妘、林旻頡、蔡徵霖、莊秉潔、廖大經、王瑞章、張錦興，臺灣中部水稻田甲烷排放量測與估算，亞熱帶生態學學會、臺灣長期生態研究網、臺灣通量研究網聯合年會，2019。

2. 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.

5.5 農業土壤(3.D)

農業土壤的氧化亞氮排放分為直接排放與間接排放，直接排放主要是因農業活動，如: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，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以氨(NH_3)和氮氧化物(NO_X)揮散；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_4^+)和硝酸離子(NO_3^-)型態再進入土壤和水中後，再產生氧化亞氮排放。

歷年之農業土壤氧化亞氮排放總量，估算結果如圖 5.5.1、表 5.5.1 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、加強推動有機及友善農業等各項肥料資材補助措施等因素下，排放量逐年降低，近年已達平緩趨勢，2023 年產生之氧化亞氮排放量，相較於 1990、2005 及 2022 年年減少 45.32%、30.01%及 4.08%。

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-16.28%~58.22%，如表 5.5.2 所示。

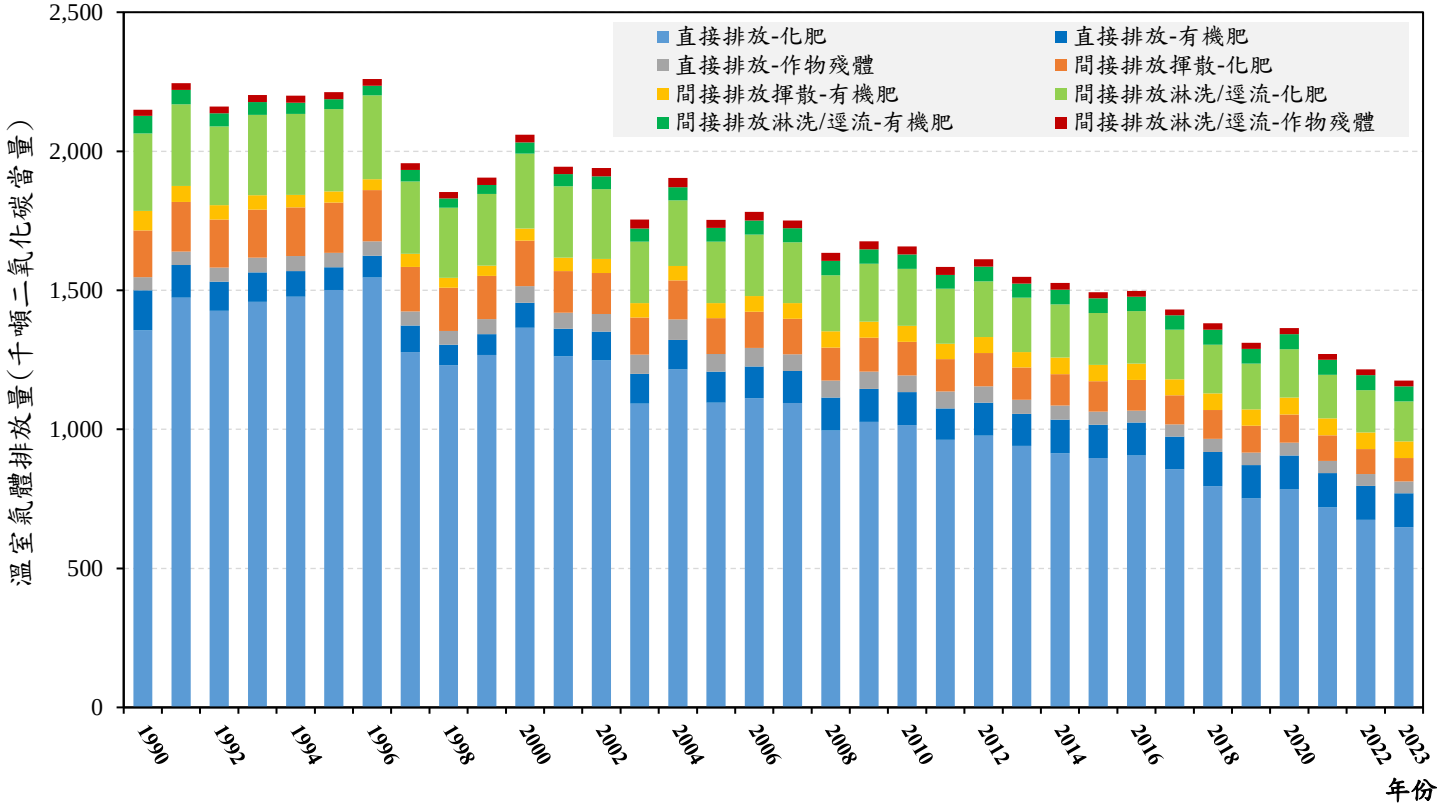

圖 5.5.1 1990 年至 2023 年農業土壤氧化亞氮排放量趨勢

表 5.5.1 歷年農業土壤氧化亞氮排放總量

（單位：千公噸二氧化碳當量）

年份	直接排放				間接排放-揮散			間接排放-淋洗/逕流				農業土壤排放總量
	化學氮肥	有機氮肥	作物殘體	合計	化學氮肥	有機氮肥	合計	化學氮肥	有機氮肥	作物殘體	合計	
1990	1,357	144	46	1,547	168	70	239	278	63	23	364	2,150
1991	1,474	117	49	1,639	178	57	235	294	51	24	370	2,244
1992	1,426	105	50	1,581	173	52	224	284	46	24	355	2,161
1993	1,459	106	53	1,617	173	52	225	288	47	25	360	2,203
1994	1,477	92	54	1,623	175	45	221	290	41	26	357	2,200
1995	1,502	81	52	1,634	181	40	221	296	36	25	357	2,212
1996	1,546	78	51	1,676	185	38	223	302	34	25	361	2,260
1997	1,278	96	50	1,424	160	47	207	260	42	24	326	1,957
1998	1,230	74	49	1,353	156	36	192	252	33	24	308	1,854
1999	1,268	75	54	1,397	156	37	192	258	33	26	316	1,905
2000	1,366	90	60	1,515	163	44	207	270	39	28	338	2,060
2001	1,263	99	57	1,419	150	49	198	256	44	27	327	1,944
2002	1,247	105	63	1,415	147	51	198	250	46	30	326	1,939
2003	1,093	107	69	1,269	133	53	186	220	47	32	299	1,754
2004	1,215	106	73	1,395	141	52	193	236	47	34	316	1,904
2005	1,096	111	64	1,271	129	54	183	221	49	30	299	1,754
2006	1,112	114	67	1,293	130	56	186	222	50	31	304	1,782
2007	1,095	115	60	1,270	127	56	184	219	51	28	297	1,751
2008	996	119	61	1,175	119	58	177	202	52	28	282	1,635
2009	1,027	118	63	1,208	122	58	180	208	52	29	289	1,677
2010	1,016	118	60	1,194	121	58	179	205	52	28	285	1,657
2011	962	113	61	1,136	117	55	172	197	50	28	276	1,584
2012	977	118	59	1,154	120	58	178	201	52	27	280	1,612
2013	941	114	51	1,106	116	56	172	195	50	24	270	1,548
2014	914	121	50	1,086	113	59	172	191	53	24	269	1,526
2015	897	119	47	1,064	110	59	169	186	53	22	261	1,493
2016	906	118	43	1,067	111	58	169	189	52	20	261	1,498
2017	857	118	43	1,018	104	58	162	178	52	21	251	1,431
2018	796	123	47	966	103	60	163	175	54	23	252	1,382
2019	752	120	45	916	97	59	156	165	53	22	239	1,311
2020	783	123	45	952	102	60	162	174	54	22	250	1,364
2021	719	124	43	886	92	61	153	157	55	21	232	1,271
2022	674	122	43	840	89	60	149	152	54	21	227	1,215
2023	648	123	42	812	84	60	144	144	54	20	218	1,175

表 5.5.2 農業土壤氧化亞氮排放量不確定性

農業土壤氧化亞氮排放源	2023 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	812	-56.40% ~ 17.11%
間接氧化亞氮排放-揮散	144	-73.33% ~ 52.38%
間接氧化亞氮排放-淋洗/逕流	218	-35.03% ~ 27.91%
農業土壤總氧化亞氮排放量	1,175	-16.28% ~ 58.22%

5.5.1 管理土壤之氧化亞氮直接排放(3.D.1)

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)化學氮肥(F_{SN})；(2)有機氮肥(F_{ON})，如動物糞肥、堆肥、廢水污泥等；(3)放牧動物之含氮排泄物(F_{PRP})；(4)作物殘體(F_{CR})，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_{SOM})；(6)有機土壤(F_{OS})之排水和管理。

2. 方法論議題

(1)計算方法

農業土壤的氧化亞氮直接排放計算，係參照 2006 IPCC 指南方法 1 (Tier 1)，並依我國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之年直接排放量（$N_2O_{直接}$–N，公噸/年）

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

$N_2O–N_{N\,施用量}$：農業土壤中施用氮素之年直接排放量（公噸/年）

$N_2O–N_{OS}$：農業有機土壤中氮素之年直接排放量（公噸/年）

$N_2O–N_{PRP}$：放牧畜禽糞尿堆積在草原上之年直接排放量（公噸/年）

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

F_{SN}：每年施用於土壤的化肥氮含量（公噸/年）

F_{ON}：每年施用於土壤的有機肥氮量（公噸/年）

F_{CR}：每年作物殘體氮量（公噸/年）

F_{SOM}：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/年）

EF_1：氮投入到旱田引起的 N_2O-N 排放的排放係數（公斤/公斤氮投入）

EF_{1FR}：氮投入到水稻田引起的 N_2O-N 排放的排放係數（公斤/公斤氮投入）

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

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

EF_2：排水/管理有機土壤中 N_2O-N 排放的排放係數（公斤/公頃/年）

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

F_{PRP}：放牧畜禽糞尿堆積在草原上之氮量（公斤/年）

EF_{3PRP}：放牧畜禽糞尿堆積在草原上所引起的 N_2O-N 排放的排放係數（公斤/公斤氮）

考量我國放牧活動佔比極小，且並無調查相關活動數據，及農地土壤有機質含

量達 3%以上僅占 8%（譚增偉等人,2005）[19]，一般耕地土壤有機質未達有機土壤基準(>20%)，故放牧動物排泄物及農業有機土壤兩項不未計入。

N_2O-N 排放換算為氧化亞氮(N_2O)排放的計算公式如公式 5.5.2。

公式 5.5.2：

N_2O-N 排放換算為氧化亞氮(N_2O)排放量 = N_2O-N × 44/28

我國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。

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 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。農業部農糧署執行稻穀生產成本調查有紀錄水田平均施肥量，當中記載我國各縣市水稻生產之化學與有機肥料施用量，故引用其中各期作平均氮肥施用量作為水田施氮含量估算（本項所引用水田施氮含量資料由農業部農糧署直接提供），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與粕類肥等。有關農業有機廢棄物，我國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。但自 2011 年農業部依據「廢棄物清理法」推動畜牧廢水農地再利用；環境部 2016 年修改「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」，推廣沼液沼渣農地肥分使用等，減少化學肥料使用、降低廢水處理成本、減緩地面水體優養化等效益，但其活動數量僅佔全國農耕土地面積 0.64%，故尚未計入，未來將陸續列入農業統計年報中，並計算其溫室氣體排放量。

公式 5.5.3：

每年施用到土壤中的有機肥氮總量（不含放牧牲畜）（F_{ON}，公噸/年）

=(F_{AM}+F_{SEW}+F_{COMP}+F_{OOA}) × 0.78× 2.4%

F_{AM}：每年施用到土壤中的禽畜糞肥量（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[20]=乾物比

[19] 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（現為農業部農業試驗所），121:43-62，2005。

[20] 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。

2.4%[21,22]=有機氮肥之氮含量

在 1990 年至 2000 年，F_{ON} 計算為農業統計年報中「堆肥」(F_{COMP})與「禽畜糞」(F_{AM})之總和，分別指菇類堆肥、廄肥與禽畜糞等；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中。F_{ON} 引用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殼等項目。各項目加總後，乘乾物比 0.78 再乘以氮量 2.4%（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(F_{CR})

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。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。

我國的農業殘體稻藁使用流向，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，故對於本項作物殘體投入於水田之估算量，以綠色國民所得帳-稻藁就地掩埋量計算。投入於旱田之其餘作物殘體（包含非固氮穀物作物、固氮作物、根莖類作物、非固氮綠肥與固氮綠肥）係參考農業統計年報中各作物產量，並透過殘體比、含氮量等估算氮素投入量，且我國農業操作習慣是直接耕入田中，故假設未進行焚燒等須扣除方式。牧草部分，因農業部對農地牧草之補助基準，有規定三年以上更新一次可申領補助，故假定我國牧草之農地更新頻率為三年一次。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公式 5.5.4。

公式 5.5.4：

本土作物殘體氮含量

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

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

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

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

$F_{CR\text{-}rice}$：水稻殘體掩埋氮量（公噸/年）

$Rice_{res}$：水稻殘體掩埋量（公噸/年）

N_{rice}：水稻殘體氮量（公噸/公噸）

i：表式不同的作物類別

$F_{CR\text{-}i}$：作物類別 i 殘體氮量（公噸/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

[21] 行政院農業委員會（現為農業部），肥料要覽，2001。

[22] 行政院農業委員會農糧署（現為農業部農糧署），作物施肥手冊，2005。

N_{AGi}：作物類別 i 氮量（公噸/公噸）

$F_{CR–GFi}$：綠肥殘體氮量（公噸 N/年）

GF_i：綠肥總產量（公噸/年）

N_{GFi}：綠肥殘體含氮量（公噸/公噸）

$F_{CR–grass}$：牧草殘體氮量（公噸/年）

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} 係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，而礦化的氮為氧化亞氮的氮源之一。

我國農地在現行農業操作下，土壤有機質含量呈現增加或維持平衡狀況（郭鴻裕等人，1995[23]；譚增偉等人，2005[24]；譚增偉與陳桂暖，2011[25]），在無特定土地利用變化或管理作法改變下，假設農業土壤中的氮礦化量變化為零，未估計其排放量。

(2)排放係數

排放係數主要引用 2019 IPCC 指南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 5.5.3。

表 5.5.3 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	排放係數	預設值	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 N_2O-N 排放的排放係數[1]（EF_1,公斤/公斤）	0.01		0.002 ~ 0.018	潮濕氣候下的合成肥料投入	0.016	0.013 ~ 0.019
				潮濕氣候下的其他氮輸入	0.006	0.001 ~ 0.011
				乾燥氣候下的所有氮輸入	0.005	0 ~ 0.011
水稻田 N_2O-N 排放的排放係數[1]（EF_{1FR},公斤/公斤）	0.004		0.000 ~ 0.029	持續性淹水	0.003	0 ~ 0.01
				單一排水和多重排水	0.005	0 ~ 0.016
放牧畜禽糞尿堆積在草原上所引起的 N_2O-N 排放的排放係數[1]（EF_{3PRP},公斤/公斤）	0.003		0 ~ 0.01			
水稻田施氮量（公斤/公頃）	參照表 5.5.5					
有機肥（堆肥、禽畜糞肥）乾物比[2]		0.78	0.702 ~ 0.858			
有機肥（堆肥、禽畜糞肥）中氮量(%)[3,4]		2.4%	0.5 ~ 4.0			
植物殘體比率與氮量	參照表 5.5.8					

資料來源：1.IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Chapter 11, 2006.

2.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。

3.行政院農業委員會（現為農業部），肥料要覽，2001。

4.行政院農業委員會農糧署（現為農業部農糧署），作物施肥手冊，2005。

[23] 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，行政院農業委員會農業試驗所（現為農業部農業試驗所），1995。

[24] 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（現為農業部農業試驗所），121:43-62，2005。

[25] 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。

(3)活動數據

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

本項活動數據是引用自農業統計年報，化學肥料的項目包括硫酸銨、尿素、硝酸銨鈣、複合肥料，再各自依據其含氮比例換算後，加總而得化學肥料總氮用量。如表 5.5.4。

(a)水、旱田施氮含量

本項計算係為區分水田及旱田各自之化學氮肥施用量，化學氮肥總用量引用農業統計年報。水、旱田氮肥施用量之計算方式是將總化學氮肥用量扣除水田化學氮肥用量得出旱田化學氮肥用量。水田化學氮肥用量引用農業部農糧署執行稻穀生產成本調查中所紀錄各縣市水稻生產之化學與有機肥料施用量，以各期作平均氮肥施用量作為水稻田單位面積施氮量估算（如表 5.5.5），水稻田總施氮量為 1、2 期作耕作面積乘以各期水稻單位面積施氮量而得；旱田氮肥施用量則由全國總化肥氮量扣除水稻氮肥施用量而得（如表 5.5.6）。

B.施用的有機肥氮含量

我國施用有機氮肥之活動數據引自農業統計年報與綠色國民所得帳活動數據，如表 5.5.7，區分水、旱之方式比照化學氮肥。

C.農作物殘體氮量(Crop Residue, F_{CR})

依我國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、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）等七大類別。

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，來估算作物殘體氮量，如表 5.5.8 所示。

我國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引自綠色國民所得帳值，1990 年至 2000 年利用水稻總產量推估水稻「就地翻耕掩埋」之值。作物殘體掩埋量如表 5.5.9 至表 5.5.11。

D.農業有機土壤直接排放

我國農地土壤有機質含量 3%以上僅占全國農地面積約 8%（郭鴻裕等人，1995[26]；譚增偉等人，2005[27]），且我國一般耕地之土壤未達聯合國農糧組織(FAO)定義有機質土標準，故不列入計算。

[26] 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，行政院農業委員會農業試驗所（現為農業部農業試驗所），1995。

[27] 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（現為農業部農業試驗所），121:43-62，2005。

表 5.5.4 歷年化學肥料施用量與施用氮含量

（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	15,037	534,509	236,634
1998	257,658	173,169	10,514	540,741	229,417
1999	299,556	161,544	15,577	543,246	234,314
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
2017	108,317	42,861	728	690,054	161,988
2018	102,598	40,524	1,053	688,326	159,478
2019	94,645	39,917	1,076	644,175	149,895
2020	102,497	40,196	541	683,330	158,339
2021	99,520	36,293	878	607,216	142,818
2022	84,235	30,513	750	616,190	138,476
2023	79,077	26,822	250	590,835	131,208

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%，引自農業部農糧署統計資料。

資料來源：農業部，農業統計年報，2024。

表 5.5.5 歷年水稻田單位面積施氮量

期作 / 年份	化學氮肥施用量			
	一期作		二期作	
	施用量	範圍	施用量	範圍
	公斤/公頃			
1990	154.71	127.72 ~ 173.17	162.13	140.15 ~ 188.90
1991	154.71	127.72 ~ 173.17	162.13	140.15 ~ 188.90
1992	163.81	130.51 ~ 183.84	162.17	134.64 ~ 187.14
1993	160.33	141.78 ~ 450.82	162.17	126.33 ~ 184.57
1994	163.95	128.12 ~ 190.81	173.19	127.59 ~ 202.65
1995	173.72	136.67 ~ 751.68	180.02	142.53 ~ 198.99
1996	173.81	128.31 ~ 190.62	179.98	131.91 ~ 203.21
1997	175.75	146.84 ~ 195.93	183.61	142.22 ~ 200.72
1998	179.24	135.73 ~ 214.71	185.98	150.87 ~ 209.65
1999	176.53	131.72 ~ 193.82	187.73	138.50 ~ 218.71
2000	188.59	138.25 ~ 219.76	153.83	61.00 ~ 202.94
2001	186.38	137.79 ~ 227.63	197.37	136.42 ~ 224.82
2002	188.89	144.96 ~ 218.00	197.19	156.48 ~ 230.94
2003	189.66	143.35 ~ 220.98	200.46	146.61 ~ 244.63
2004	189.41	135.10 ~ 238.49	206.10	141.19 ~ 238.71
2005	191.17	132.43 ~ 235.15	203.38	159.08 ~ 250.60
2006	191.63	136.11 ~ 240.40	198.43	148.81 ~ 246.58
2007	190.03	130.40 ~ 240.32	198.14	155.88 ~ 239.44
2008	193.85	132.88 ~ 236.67	200.42	145.01 ~ 244.54
2009	190.66	132.41 ~ 240.05	209.98	156.61 ~ 259.78
2010	202.33	131.64 ~ 255.44	200.54	127.09 ~ 243.13
2011	200.38	123.14 ~ 254.79	202.78	130.65 ~ 247.42
2012	199.52	123.61 ~ 257.33	199.31	122.59 ~ 239.74
2013	192.93	123.52 ~ 246.95	200.06	130.61 ~ 255.02
2014	194.88	117.08 ~ 259.75	202.78	119.03 ~ 256.99
2015	196.46	113.00 ~ 265.65	204.91	118.30 ~ 272.14
2016	190.22	109.57 ~ 264.23	191.85	127.62 ~ 253.88
2017	174.72	86.72 ~ 249.28	180.14	101.21 ~ 272.90
2018	209.34	80.14 ~ 293.90	222.80	151.79 ~ 248.62
2019	195.07	91.08 ~ 272.16	207.89	121.41 ~ 243.18
2020	213.61	101.80 ~ 294.95	246.56	20.66 ~ 286.50
2021	217.12	78.19 ~ 405.66	239.44	6.84 ~ 360.38
2022	214.60	64.30 ~ 371.13	251.28	6.28 ~ 316.64
2023	217.17	70.62 ~364.34	230.94	6.59 ~ 311.00

表 5.5.6 歷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		水稻田施氮量	旱田施氮量
	面積	施氮總量	面積	施氮總量		
	公頃	公噸	公頃	公噸	公噸	
1990	242,298	37,486.41	211,968	34,365.52	71,851.93	181,150.39
1991	227,417	35,184.14	201,385	32,649.74	67,833.88	200,006.01
1992	209,474	34,313.94	187,676	30,435.98	64,749.92	193,745.46
1993	211,790	33,955.23	179,137	29,050.29	63,005.52	199,245.14
1994	196,317	32,186.37	169,520	29,358.49	61,544.86	202,372.41
1995	197,571	34,321.64	165,908	29,866.59	64,188.23	205,306.68
1996	182,807	31,774.05	164,955	29,688.60	61,462.65	212,850.83
1997	202,010	35,503.06	162,202	29,782.40	65,285.45	171,348.46
1998	201,424	36,102.59	156,263	29,062.23	65,164.82	164,252.09
1999	197,123	34,798.65	155,942	29,275.68	64,074.33	170,239.63
2000	195,055	36,784.45	144,546	22,235.37	59,019.81	186,501.03
2001	188,553	35,141.65	143,066	28,237.05	63,378.70	169,718.64
2002	177,884	33,600.51	128,956	25,428.64	59,029.15	168,754.01
2003	161,184	30,569.61	110,940	22,239.35	52,808.95	147,479.98
2004	135,314	25,629.77	101,701	20,960.51	46,590.28	167,807.50
2005	158,452	30,290.48	110,571	22,487.60	52,778.07	148,050.81
2006	155,248	29,750.33	107,940	21,418.75	51,169.08	150,859.52
2007	155,459	29,542.34	104,657	20,736.53	50,278.87	148,652.84
2008	148,333	28,753.61	103,959	20,835.05	49,588.66	133,940.47
2009	151,338	28,854.37	103,252	21,680.73	50,535.10	138,272.71
2010	139,941	28,314.36	103,922	20,840.63	49,154.98	137,065.69
2011	153,405	30,738.92	100,849	20,450.65	51,189.57	128,372.44
2012	156,662	31,256.48	104,101	20,748.10	52,004.57	130,407.65
2013	162,869	31,421.84	107,296	21,465.19	52,887.03	124,690.60
2014	166,602	32,467.52	104,449	21,179.81	53,647.33	120,413.43
2015	146,597	28,800.65	105,264	21,569.68	50,370.33	118,835.32
2016	168,872	32,123.31	104,965	20,137.17	52,260.48	119,635.27
2017	169,819	29,670.86	104,859	18,889.63	48,560.48	113,427.09
2018	169,789	35,543.68	101,716	22,662.80	58,206.48	101,271.14
2019	169,740	33,111.73	100,326	20,856.49	53,968.22	95,926.52
2020	159,891	34,153.95	101,893	25,123.01	59,276.96	99,061.86
2021	127,375	27,655.27	96,647	23,141.31	50,796.58	92,021.37
2022	157,126	33,718.81	81,575	20,498.14	54,216.95	84,259.25
2023	143,256	31,110.99	79,154	18,280.09	49,391.08	81,816.92

表 5.5.7 歷年禽畜糞肥料施用量與施氮量

（單位：公噸）

年份	農業統計年報		綠色國民所得帳		乾物比	有機氮肥氮含量	有機氮肥總施氮量	有機水田施氮量		有機氮肥總施氮量（水田）	有機氮肥總施氮量（旱田）
	堆肥	禽畜糞	禽畜舍墊料	堆肥				一期作	二期作		
1990	1,313,766	1,760,166	-	-			57,544.01	10.21	-	10.21	57,533.80
1991	1,072,602	1,421,175	-	-			46,683.51	9.58	-	9.58	46,673.93
1992	921,678	1,332,571	-	-			42,199.54	22.06	19.76	41.82	42,157.72
1993	892,081	1,371,916	-	-			42,382.02	26.76	15.09	41.85	42,340.17
1994	661,707	1,315,837	-	-			37,019.62	4.13	21.42	25.55	36,994.07
1995	716,149	1,014,988	-	-			32,406.88	108.18	31.45	139.63	32,267.26
1996	643,926	1,030,476	-	-			31,344.81	19.25	6.95	26.20	31,318.61
1997	582,307	1,463,448	-	-			38,296.53	4.25	99.06	103.32	38,193.22
1998	484,676	1,098,550	-	-			29,637.99	59.39	9.87	69.26	29,568.73
1999	460,038	1,135,045	-	-			29,859.95	91.33	29.56	120.89	29,739.07
2000	737,897	1,181,344	-	-			35,928.19	32.86	6.09	38.95	35,889.24
2001	532,671	1,025,764	90,000	2,031,489			39,714.26	19.85	84.36	104.22	39,610.05
2002	526,209	584,855	85,000	2,152,062			41,877.81	112.39	78.76	191.15	41,686.66
2003	479,046	547,218	81,000	2,212,500			42,934.32	118.81	140.18	258.99	42,675.33
2004	-	-	71,680	2,205,188			42,622.97	131.09	55.69	186.77	42,436.19
2005	-	-	73,357	2,302,694			44,479.67	190.21	81.50	271.71	44,207.96
2006	-	-	77,902	2,366,029			45,750.39	183.09	113.66	296.75	45,453.63
2007	-	-	68,173	2,393,084	0.78	2.4%	46,074.73	189.89	149.88	339.77	45,734.96
2008	-	-	72,858	2,465,486			47,517.80	199.93	126.98	326.91	47,190.89
2009	-	-	78,909	2,453,827			47,412.82	184.86	143.52	328.37	47,084.45
2010	-	-	72,551	2,455,770			47,330.17	271.14	105.05	376.19	46,953.98
2011	-	-	83,313	2,329,480			45,167.48	271.38	95.57	366.96	44,800.53
2012	-	-	85,011	2,449,779			47,451.27	214.45	109.62	324.07	47,127.20
2013	-	-	74,498	2,369,100			45,744.15	233.24	140.10	373.34	45,370.81
2014	-	-	86,611	2,506,422			48,541.58	164.91	108.17	273.07	48,268.50
2015	-	-	79,087	2,478,153			47,871.52	163.63	113.06	276.69	47,594.83
2016	-	-	79,389	2,447,638			47,305.95	200.71	125.09	325.80	46,980.15
2017	-	-	87,702	2,427,809			47,090.37	224.32	114.17	338.49	46,751.87
2018	-	-	97,490	2,533,719			49,256.23	85.82	19.28	105.10	49,151.13
2019	-	-	89,561	2,473,089			47,972.81	256.19	23.96	280.15	47,692.66
2020	-	-	87,536	2,542,679			49,237.62	265.14	36.22	301.36	48,936.27
2021	-	-	124,642	2,529,270			49,681.23	168.65	43.50	212.14	49,469.09
2022	-	-	129,214	2,488,441			49,002.50	168.64	36.49	205.13	48,797.37
2023			116,830	2,507,527			49,127.96	125.85	43.59	169.43	48,958.53

備註：1.1990–2000 年引用農業統計年報中的堆肥與禽畜糞。2001 年後引用綠色國民所得帳報告中的堆肥與禽畜舍墊料。

2.水田施氮量由農業部農糧署提供。

3.有機氮肥總施氮量（水田）為一期稻米與二期稻米之水稻田施氮量加總。

4.有機氮肥總施氮量（旱田）為有機氮肥總施氮量扣除有機氮肥總施氮量（水田）所求得。

資料來源：1.農業部，農業統計年報，2024。

2.行政院主計總處，綠色國民所得帳編製報告，2024。

表 5.5.8 估算作物殘體投入土壤氮量之設定係數

分類	細項	乾物比	收穫指數	殘體比	氮量	係數來源
非固氮作物	水稻（乾物）	0.89	50	1.65	0.007	IPCC, 2006 農試所自行研究
	玉米（乾物）		53	0.89		Wang et al., 1986
	玉米（乾物）	0.88	41	1.38	0.006	IPCC, 2006
	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		李銘全等人，1999
	大豆（乾物）		39	1.56		林順福等人，1991
	花生（乾物）		47±5	1.12		黃勝忠與宋勳，1995
	花生（乾物）	0.94	37	1.68	0.016	IPCC, 2006
	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		呂秀英等人，1999
	甘藷（鮮物）		80±30	0.25		賴永昌等人，1996
	塊莖類（鮮物）	0.22	71	0.41	0.019	IPCC, 2006
	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	農業部，2001
	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

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 2006 IPCC 指南預設部分作物乾物比不符合我國實際作物型態，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%。

資料來源：1.IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Chapter 11, 2006.

2.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.

3.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，農業部高雄區農業改良場研究彙報，10(2)：22-31，1999。

4.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。

5.黃勝忠、宋勳，臺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。

6.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。

7.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。

8.行政院農業委員會（現為農業部），肥料要覽，2001。

表 5.5.9 各類作物產量

（單位：公噸）

作物	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
產量類別	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

作物	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
產量類別	乾物	乾物	鮮物	乾物	鮮物	鮮物	鮮物	鮮物	鮮物
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
2017	1,754,049	88,345	110,347	79,602	93,358	803,393	969,415	143,246	941,343
2018	1,949,796	81,621	106,091	77,020	99,139	837,406	1,026,504	158,630	862,664
2019	1,791,211	84,723	105,222	70,111	83,359	744,947	999,577	139,913	863,833
2020	1,750,729	88,759	129,588	70,996	89,703	740,062	1,009,322	125,139	927,385
2021	1,560,870	83,718	135,166	66,418	85,966	741,908	1,130,113	129,868	905,943
2022	1,575,777	109,508	130,561	64,891	89,974	720,932	998,986	124,947	980,032
2023	1,460,374	107,786	126,357	60,263	88,869	688,688	1,054,139	107,831	946,918

備註：資料由農業統計年報彙整而來，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、芝麻等。
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、薑、芋、蔥、馬鈴薯、洋蔥、青蒜、蒜頭等。
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（大菜約占半數）、混播等。
8. 非固氮牧草（鮮物） ：盤固拉草、狼尾草、其他牧草等。

資料來源：農業部，農業統計年報，2024。

表 5.5.10 各類作物殘體量

（單位：公噸）

作物	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
產量類別	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	1,259,736	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

作物	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
產量類別	乾物	乾物	鮮物	乾物	鮮物	鮮物	鮮物	鮮物	鮮物
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
2017	1,375,037	118,948	37,143	132,561	37,586	72,466	969,415	143,246	31,755
2018	1,601,636	109,895	35,710	128,261	39,913	75,534	1,026,504	158,630	29,101
2019	1,506,232	114,071	35,418	116,755	33,561	67,194	999,577	139,913	29,140
2020	1,497,085	119,505	43,619	118,230	36,115	66,754	1,009,322	125,139	31,284
2021	1,298,368	112,718	45,497	110,607	34,610	66,920	1,130,113	129,868	30,560
2022	1,332,430	147,442	43,947	108,063	36,224	65,028	998,986	124,947	33,060
2023	1,234,558	145,123	42,532	100,356	35,779	62,120	1,054,139	107,831	31,943

備註：資料由農業統計年報彙整而來，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，1990 年至 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。
3. 非固氮穀物作物（不含水稻-乾物）：飼料玉米、高粱、其他-雜糧、芝麻等。
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、薑、芋、蔥、馬鈴薯、洋蔥、青蒜、蒜頭等。
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（大菜約占半數）、混播等。
10. 非固氮牧草（鮮物）：盤固拉草、狼尾草、其他牧草等。

資料來源：1.農業部，農業統計年報，2024。

2.行政院主計總處，綠色國民所得帳編製報告，2024。

表 5.5.11 各類作物殘體氮量

（單位：公噸氮）

作物類別 年	水稻掩埋殘體	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	作物總殘體氮量
		乾物	鮮物	乾物	鮮物	鮮物	鮮物	鮮物	鮮物	
1990	12,729	3,692	299	1,171	761	1,082	498	105	388	20,725
1991	12,888	3,623	288	1,370	774	1,160	1,128	136	372	21,739
1992	11,510	3,797	275	1,245	802	1,206	2,576	267	363	22,041
1993	12,440	3,826	322	1,304	777	1,106	2,743	319	355	23,192
1994	11,462	3,828	279	1,360	686	1,073	3,959	503	373	23,524
1995	11,522	3,477	300	1,476	747	1,187	3,080	555	360	22,703
1996	10,718	3,230	331	1,344	691	1,332	3,697	617	352	22,313
1997	11,351	2,640	318	1,323	815	1,256	3,089	910	317	22,020
1998	10,309	1,570	332	1,053	710	1,106	5,020	1,039	304	21,444
1999	10,635	1,177	302	1,009	669	1,340	6,732	1,328	324	23,516
2000	10,577	962	284	1,151	735	1,262	9,056	1,094	514	25,635
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	8,818	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	22,421
2014	9,460	708	279	1,085	502	1,215	7,579	458	476	21,762
2015	8,596	780	260	1,033	492	1,142	7,264	390	452	20,409

作物類別 年	水稻掩埋殘體	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	作物總殘體氮量
		乾物	鮮物	乾物	鮮物	鮮物	鮮物	鮮物	鮮物	
2016	8,863	697	269	1,024	490	1,118	5,377	314	453	18,605
2017	9,625	833	297	1,060	601	1,159	4,653	301	476	18,586
2018	11,211	769	286	1,026	639	1,209	4,927	333	437	20,837
2019	10,544	798	283	934	537	1,075	4,798	294	437	19,700
2020	10,480	837	349	946	578	1,068	4,845	263	469	19,835
2021	9,089	789	364	885	554	1,071	5,425	273	458	18,908
2022	9,327	1,032	352	865	580	1,040	4,795	262	496	18,746
2023	8,642	1,016	340	803	572	994	5,060	226	479	18,132

備註：資料由農業統計年報彙整而來，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、芝麻等。
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、薑、芋、蔥、馬鈴薯、洋蔥、青蒜、蒜頭等。
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（大菜約占半數）、混播等。
8. 非固氮牧草（鮮物） ：盤固拉草、狼尾草、其他牧草等。

資料來源：農業部，農業統計年報，2024。

(4)排放量

歷年之農業土壤直接氧化亞氮排放總量，估算結果如圖 5.5.2 與表 5.5.12。農業土壤的氧化亞氮直接排放主要反應農地氮肥施用量、作物殘體氮含量等影響，2023 年與 1990、2005 及 2022 年相比，農業土壤的氧化亞氮直接排放約減少 47.51%、36.11%及 4.13%。主要因農業活動衰減、合理化施肥推廣、加強推動有機及友善農業等各項肥料資材補助措施等，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近年已達平緩趨勢。

(5)完整性

對於化學肥料施用之活動數據，依據農業部農糧署統計[28]資料部分年度有施用氰氮化鈣，比例低於總施氮含量之 0.1%，且非各年度有施用資料，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。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他有機質肥料），統計來源為農業部農糧署，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）[29]，國內有機水稻耕作面積，至 2023 年底 3,407 公頃，以每年每公頃 20 公噸有機肥施用量（農業部農糧署，2003）[28] 估算，估計水稻田有機氮肥施用量約 23 至 1,259 公噸氮，僅占總有機氮肥施用量比例 5％以下，故未另將有機水稻有機氮肥投入單獨計算。我國近年推廣畜牧糞尿農地再利用及沼液沼渣農地肥分使用等計畫，但截至 2023 年，申請施灌農地為 5,045 公頃，僅佔全國農耕土地面積 0.64%，故尚未計入，未來將陸續列入農業統計年報中，並計算其溫室氣體排放量。

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。

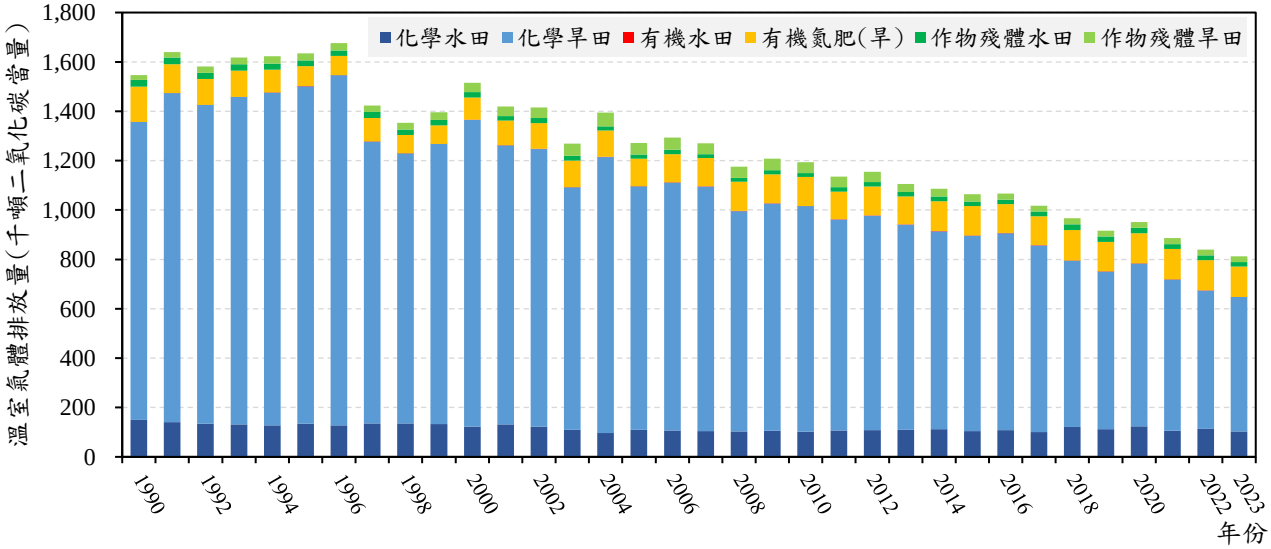

圖 5.5.2 1990 年至 2023 年農業土壤直接氧化亞氮排放量趨勢

[28]農業部農糧署，農糧統計\公務統計\臺灣地區肥料產銷量值，http://www.afa.gov.tw/。
[29]有機農業全球資訊網，http://info.organic.org.tw/supergood/front/bin/home.phtml。

表 5.5.12 歷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	化肥		有機氮肥		作物殘體		合計排放量
	水稻田	旱田	水稻田	旱田	水稻田	旱田	
1990	149.61	1,206.98	0.02	143.75	26.50	19.98	1,546.84
1991	141.24	1,332.61	0.02	116.62	26.83	22.11	1,639.44
1992	134.82	1,290.90	0.09	105.33	23.97	26.31	1,581.42
1993	131.19	1,327.54	0.09	105.79	25.90	26.86	1,617.37
1994	128.15	1,348.38	0.05	92.43	23.87	30.14	1,623.01
1995	133.65	1,367.93	0.29	80.62	23.99	27.94	1,634.42
1996	127.97	1,418.19	0.05	78.25	22.32	28.97	1,675.76
1997	135.93	1,141.67	0.22	95.43	23.63	26.65	1,423.54
1998	135.68	1,094.39	0.14	73.88	21.46	27.82	1,353.38
1999	133.41	1,134.28	0.25	74.31	22.14	32.18	1,396.58
2000	122.89	1,242.63	0.08	89.67	22.02	37.62	1,514.92
2001	131.96	1,130.81	0.22	98.97	18.95	38.53	1,419.44
2002	122.91	1,124.38	0.40	104.16	21.28	42.11	1,415.23
2003	109.96	982.64	0.54	106.63	19.95	48.95	1,268.67
2004	97.01	1,118.08	0.39	106.03	17.13	56.34	1,394.98
2005	109.89	986.44	0.57	110.46	17.53	46.23	1,271.12
2006	106.54	1,005.16	0.62	113.57	18.62	48.55	1,293.06
2007	104.69	990.45	0.71	114.27	15.96	44.21	1,270.29
2008	103.25	892.43	0.68	117.91	15.72	45.22	1,175.21
2009	105.22	921.29	0.68	117.64	16.93	45.93	1,207.70
2010	102.35	913.25	0.78	117.32	15.70	44.68	1,194.09
2011	106.58	855.33	0.76	111.94	17.91	43.18	1,135.71
2012	108.28	868.89	0.67	117.75	18.36	40.27	1,154.23
2013	110.12	830.80	0.78	113.36	18.08	33.03	1,106.15
2014	111.70	802.30	0.57	120.60	19.70	30.74	1,085.60
2015	104.88	791.78	0.58	118.92	17.90	29.52	1,063.57
2016	108.81	797.11	0.68	117.38	18.45	24.34	1,066.78
2017	101.11	755.75	0.70	116.81	20.04	23.44	1,017.85
2018	121.19	674.76	0.22	122.81	23.34	24.05	966.37
2019	112.37	639.14	0.58	119.16	21.95	22.88	916.09
2020	123.42	660.04	0.63	122.27	21.82	23.37	951.55
2021	105.77	613.13	0.44	123.60	18.92	24.53	886.39
2022	112.89	561.41	0.43	121.92	19.42	23.53	839.60
2023	102.84	545.13	0.35	122.33	17.99	23.71	812.36

備註：作物殘體之旱田所含作物種類如下：非固氮穀物作物（乾物）、非固氮穀物作物（鮮物）、固氮作物（乾物）、固氮作物（鮮物）、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、芝麻等。

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、薑、芋、蔥、馬鈴薯、洋蔥、青蒜、蒜頭等。

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（大菜約占半數）、混播等。

8.非固氮牧草（鮮物）：盤固拉草、狼尾草、其他牧草等。

3.不確定性與時間序列的一致性

(1)不確定性

農業土壤氧化亞氮直接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 2006 IPCC 指南建議[30]以蒙地卡羅方法進行不確定性評估。因此農地氧化亞氮直接排放不確定性，活動數據使用 2023 年數值，其不確定性範圍如表 5.5.13 所示。N_2O-N 換算為氧化亞氮之 44/28 值為固定值。全球暖化潛勢(GWP)實際具有很大的不確定性，然在 2006 IPCC 指南中亦將其設定為固定值，各參數數值模擬次數為 1,000 次，評估結果如表 5.5.13 所示，農業土壤的氧化亞氮直接排放之不確定性為-19.08%~31.73%。

(2)時間序列的一致性：

在禽畜糞肥料用量、就地翻耕掩埋量之活動數據中為不連續資料。禽畜糞肥料用量 1990 年至 2000 年為農業統計年報中堆肥加禽畜糞之合計用量，2001 年後為綠色國民所得帳堆肥加禽畜舍墊料之合計用量，兩項活動數據來源在 2001 年到 2003 年間有重疊，但差異大，禽畜糞等為主要有機氮肥來源，2001 年到 2003 年間禽畜總頭數量未有較大變化，以綠色國民所得帳「禽畜舍墊料」與「堆肥」總和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 年後引自綠色國民所得帳值，1990 年至 2000 年則利用 2001 年至 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。其餘項目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

同章節 5.4 水稻種植(3.C)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以面積為排放量之單位（公斤/公頃）與 2006 IPCC 指南估算方法之氮肥使用排放係數（公斤/公斤）有別；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，兩者並不適合直接進行換算，故未予引用；初步整理比較如表 5.5.14，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。目前農業部所屬試驗改良場所正進行以密閉罩法(Closed Chamber Method)量測水田及重要旱作品項的氧化亞氮排放，以提高農地氧化亞氮排放估算之準確性與精確性。

[30] IPCC, Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Volume 1, Chapter 3, 2006.

表 5.5.13 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			2023 年活動數據	轉換係數			氮投入量（公噸氮）	N_2O-N 排放係數（公斤/公斤）	N_2O-N 排放量（千公噸二氧化碳當量）
化學氮肥	水稻田		49,391 公噸氮 (-26.54% ~ 25.47%)	-			131,208 (-3.78% ~ 3.75%)	0.005 (0 ~ 0.011)	102.84 (-77.16% ~ 109.41%)
	旱田		81,837 公噸氮 (-17.16% ~ 17.15%)	-				0.016 (0.013 ~ 0.019)	545.13 (-22.22% ~ 24.07%)
有機氮肥	水稻田		169.43 公噸氮 (-1.78% ~ 2,595.55%)	乾物比 0.78 (-10.29% ~ 10.33%) 氮量 2.4% (0.50% ~ 4.00%)			49,128 (-81.09% ~84.34%)	0.005 (0 ~ 0.011)	0.35 公噸 (-1.78%~2,595.55%)
	旱田		48,958.53 公噸氮 (-88.65% ~ 131.16%)					0.006 (0.001 ~ 0.011)	122.33 公噸 (-88.65% ~ 131.16%)
作物殘體	作物殘體分類		殘體量（公噸）	乾物比	殘體比 (±50.00%)	氮量 (±50.00%)	殘體氮量（公噸氮）		
	水稻		1,234,558 (31.58% ~ 44.91%)	1 (±10.00%)	1	0.007	8,642 (-54.20% ~ 143.65%)	0.005 (0 ~ 0.011)	17.99 (-75.58% ~ 247.24%)
	非固氮穀物作物	（乾物）	107,787 (-4.73% ~ 4.46%)	0.88 (-8.61% ~ 8.47%)	1.53	0.007	1,016 (-64.63% ~ 79.13%)	0.006 (0.001 ~ 0.011)	23.71 (-35.38% ~ 386.55%)
		（鮮物）	126,357 (-4.94% ~ 4.99%)	0.22 (-16.64% ~ 19.45%)	1.53	0.008	340 (-59.92% ~ 84.06%)		
	固氮作物	（乾物）	60,262 (-3.72% ~ 3.43%)	0.91 (-11.19% ~ 10.85%)	1.83	0.008	803 (-62.55% ~ 72.49%)		
		（鮮物）	88,869 (-4.36% ~ 4.38%)	0.22 (-17.97% ~ 16.74%)	1.83	0.016	572 (-61.46% ~ 81.26%)		
	根莖類（鮮物）		688,688 (18.47% ~ 22.09%)	0.22 (-18.98% ~ 18.87%)	0.41	0.016	994 (-54.51% ~ 116.71%)		
	固氮綠肥（鮮物）		1,054,139 (-2.72% ~ 2.50%)	1 (±10.00%)	1	0.0048	5,060 (-55.61% ~ 65.66%)		
	非固氮綠肥（鮮物）		107,831 (-3.66% ~ 3.39%)	1 (±10.00%)	1	0.0021	226 (-92.74% ~ 130.67%)		
	非固氮牧草（鮮物）		946,918 (-4.80% ~ 4.68%)	0.22 (-19.03% ~ 17.68%)	0.46	0.015	479 (-60.77% ~ 93.03%)		
	小計						198,300 (-20.09% ~ 22.94%)		812.36 (-19.08% ~ 31.73%)

資料來源：農業部，農業統計年報，2024。

表 5.5.14 農業土壤直接氧化亞氮之本土與預設排放係數

排放源	N_2O-N 排放係數或平均排放係數（不確定性或範圍）			來源
	毫克/平方公尺/時	克/平方公尺	公斤/公斤氮	
水稻田 （多重排水）			0.005 (0 ~ 0.016)	IPCC, 2006
旱田 （潮濕氣候下的其他氮輸入）			0.006 (0.001 ~ 0.011)	
旱田 （潮濕氣候下的合成肥料投入）			0.016 (0.013 ~ 0.019)	
水稻田 一期作	0.121 (0.020 ~ 0.174)		0.020 [a] (0.0003 ~ 0.028)	Yang et al., 2003
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)	

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

3.[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、水果和花卉之施氮含量分別以：260、350、600 和 400 公斤/公頃估算。

資料來源：1. IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Chapter 11, 2006.

2. 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.

5.5.2 管理土壤之氧化亞氮間接排放(3.D.2)

1.排放源及匯分類的描述

農業活動所投入之氮素除了直接途徑的產生的氧化亞氮（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。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_3 和 NO_x 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 2006 IPCC 指南方法 1 (Tier 1)進行估算，並依我國農業耕作國情不同進行調整。

A.揮散($N_2O_{(ATD)}$)

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，公噸/年）

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

F_{SN}=每年施用於土壤的化肥氮量（公噸/年）

$Frac_{GASF}$=以 NH_3 和 NO_x 形式揮散的化肥氮量比例（公斤/公斤）

F_{ON}=每年施用於土壤的有機肥氮量（公噸/年）

F_{PRP}=每年放牧畜禽糞尿在草原上的氮量（公噸/年）

$Frac_{GASM}$=以 NH_3 和 NO_x 形式揮散的氮與施用的有機肥氮量(F_{ON})和放牧畜禽糞尿的尿液和糞便氮量比例(F_{PRP})（公斤/公斤）

EF_4=氮揮散和再沉降後氮的 N_2O-N 排放係數（公斤/公斤）

B.淋洗/逕流($N_2O_{(L)}$)

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：

每年因土壤中氮淋洗和逕流產生的氧化亞氮的排放量（$N_2O_{(L)}$-N，公噸/年）

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

F_{SN}：每年施用於土壤的化肥氮量（公噸/年）

F_{ON}：每年施用於土壤的有機肥氮量（公噸/年）

F_{PRP}：每年放牧畜禽糞尿堆積在草原上之氮量（公噸/年）

F_{CR}：每年作物殘體氮量（公噸/年）

F_{SOM}：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/年）

$Frac_{LEACH\text{-}(H)}$：農業土壤中通過淋洗和逕流所流失的氮量占總施

用氮量的比例（公斤/公斤）

EF_5：氮淋洗和逕流引起的 N_2O-N 排放的排放係數（公斤/公斤）

分別依據公式 5.5.5 及公式 5.5.6 計算農業土壤間接排放（揮散、淋洗/逕流）產生之 $N_2O_{(ATD)}$-N、$N_2O_{(L)}$-N 排放量，最後再用公式 5.5.2 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 2019 IPCC 精進指南預設值，如表 5.5.15 所示。

(3)活動數據

數據來源與施用的化肥氮含量(F_{SN})、施用的有機氮肥氮含量(F_{ON})、作物殘體氮含量(F_{CR})與氧化亞氮直接排放計算相同，其數據於章節 5.5.1 農業土壤的氧化亞氮直接排放所引用數據的來源相同。

(4)排放量

歷年之農業土壤間接氧化亞氮排放總量，估算結果如圖 5.5.3、圖 5.5.4、表 5.5.16 與表 5.5.17 所示。氧化亞氮間接排放總量，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。2023 年揮散產生之氧化亞氮間接排放量，相較於 1990、2005 及 2022 年分別約減少 39.75%、21.31%及 3.36%。淋洗/逕流產生之間接氧化亞氮排放量，相較於 1990、2005 及 2022 年則分別約減少 40.11%、27.09%及 5.22%。

(5)完整性

農業土壤氧化亞氮間接排放完整性，同氧化亞氮直接排放之說明。

表 5.5.15 農業土壤氧化亞氮間接排放的預設排放、揮散和淋洗係數

因子	IPCC 預設值（範圍）	類別	預設值	不確定性範圍
氮揮散和再沉降後氮的 N_2O-N 排放係數（EF_4，公斤/公斤）	0.010 (0.002 ~ 0.018)	潮濕氣候	0.014	0.011 ~ 0.017
		乾燥氣候	0.005	0 ~ 0.011
氮淋洗和逕流引起的 N_2O-N 排放的排放係數（EF_5，公斤/公斤）	0.011 (0.000 ~ 0.020)			
以 NH_3 和 NOx 形式揮散的化肥氮量比例（$Frac_{GASF}$，公斤/公斤）	0.11 (0.02 ~ 0.33)	尿素	0.15	0.03 ~ 0.43
		銨	0.08	0.02 ~ 0.30
		硝酸鹽	0.01	0.00 ~ 0.02
		硝酸銨	0.05	0.00 ~ 0.20
以 NH_3 和 NOx 形式揮散的氮與施用的有機肥氮量(F_{ON})和放牧畜禽糞尿的尿液和糞便氮量比例(F_{PRP})（$Frac_{GASM}$，公斤/公斤）	0.21 (0.00 ~ 0.31)			
農業土壤中通過淋洗和逕流所流失的氮量佔總施用氮量的比例（$Frac_{LEACH-(H)}$，公斤/公斤）	0.24 (0.01 ~ 0.73)			

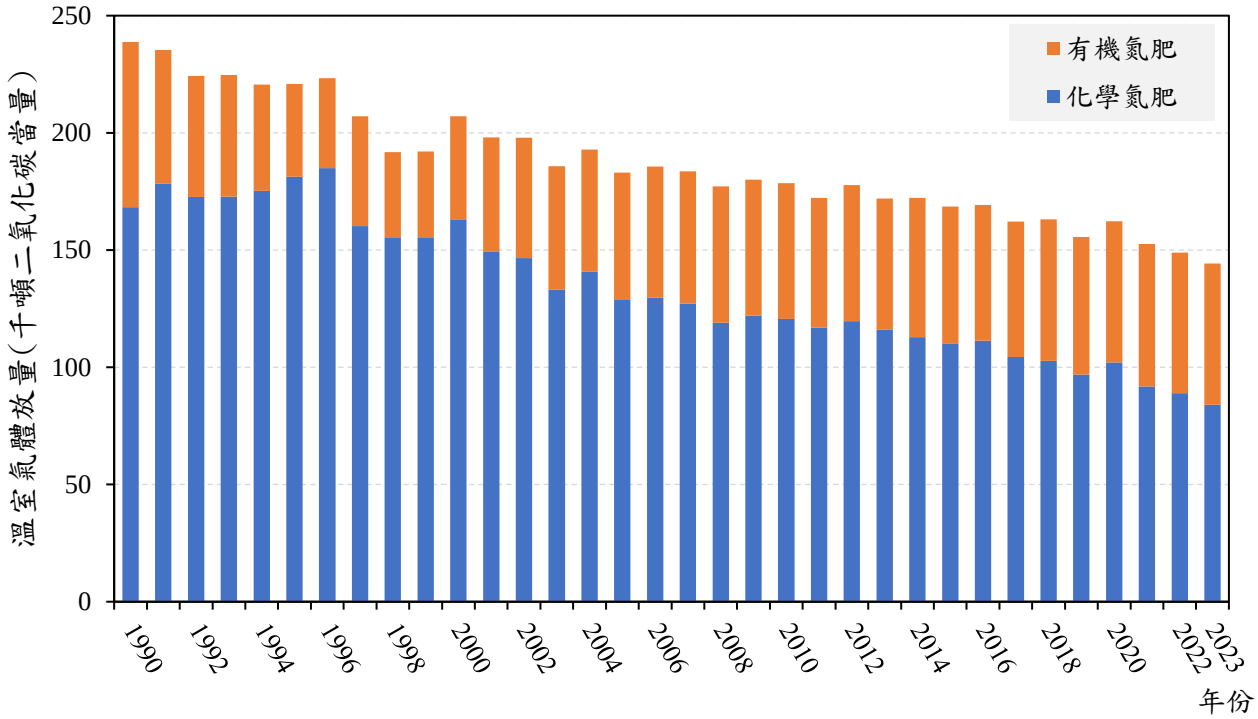

圖 5.5.3 1990 年至 2023 年農業土壤間接氧化亞氮-揮散之排放量

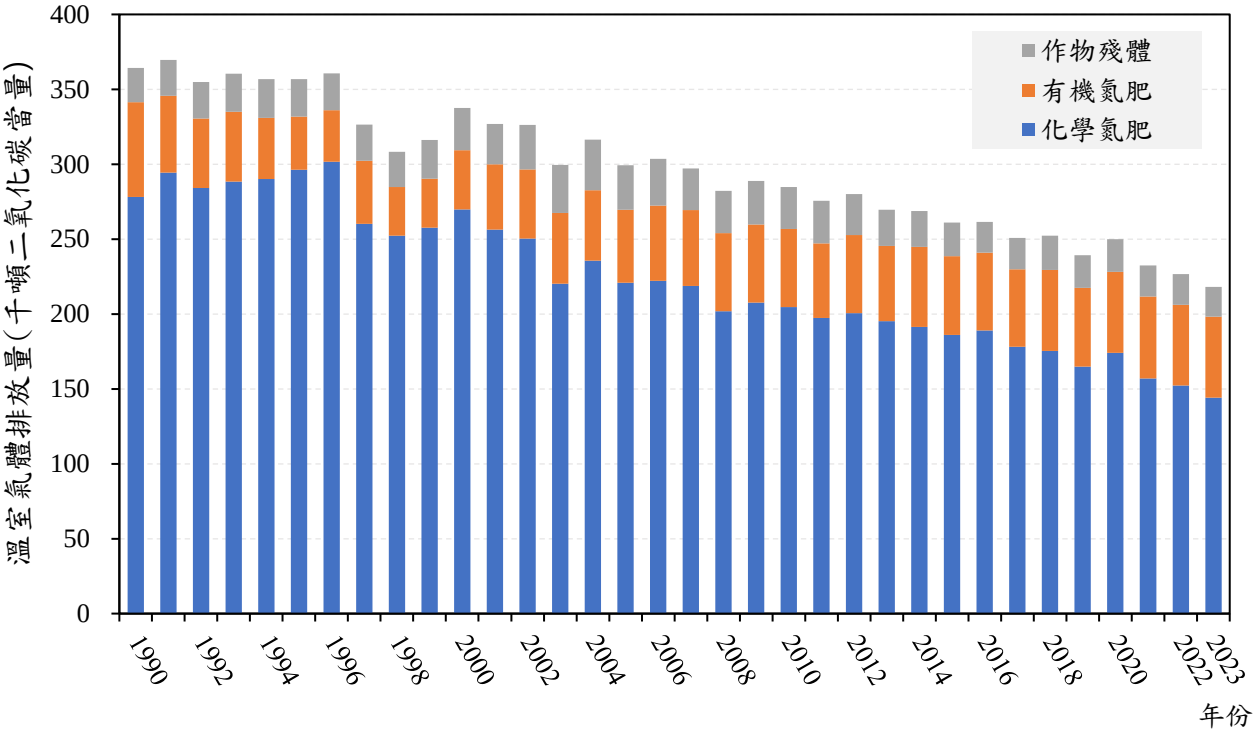

圖 5.5.4 1990 年至 2023 年農業土壤間接氧化亞氮-淋洗/逕流之排放量

表 5.5.16 歷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	化學氮肥	有機氮肥	合計排放量
1990	168.30	70.45	238.76
1991	178.20	57.15	235.35
1992	172.62	51.66	224.29
1993	172.85	51.89	224.73
1994	175.27	45.32	220.59
1995	181.20	39.68	220.87
1996	184.90	38.38	223.27
1997	160.25	46.89	207.13
1998	155.50	36.29	191.79
1999	155.50	36.56	192.06
2000	163.09	43.99	207.08
2001	149.50	48.62	198.13
2002	146.61	51.27	197.88
2003	133.18	52.56	185.75
2004	140.69	52.18	192.87
2005	128.64	54.46	183.10
2006	129.64	56.01	185.66
2007	127.20	56.41	183.61
2008	119.03	58.18	177.20
2009	121.95	58.05	180.00
2010	120.62	57.95	178.57
2011	117.01	55.30	172.31
2012	119.68	58.09	177.78
2013	116.01	56.00	172.02
2014	112.80	59.43	172.23
2015	110.02	58.61	168.63
2016	111.40	57.92	169.31
2017	104.45	57.65	162.10
2018	102.78	60.30	163.08
2019	96.86	58.73	155.59
2020	102.05	60.28	162.33
2021	91.77	60.82	152.59
2022	88.93	59.99	148.93
2023	84.10	60.15	144.25

表 5.5.17 歷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	化學氮肥	有機氮肥	作物殘體	合計排放量
1990	278.14	63.26	22.78	364.19
1991	294.46	51.32	23.90	369.68
1992	284.18	46.39	24.23	354.81
1993	288.31	46.59	25.50	360.40
1994	290.14	40.70	25.86	356.70
1995	296.28	35.63	24.96	356.86
1996	301.57	34.46	24.53	360.56
1997	260.15	42.10	24.21	326.46
1998	252.21	32.58	23.57	308.37
1999	257.60	32.83	25.85	316.28
2000	269.92	39.50	28.18	337.60
2001	256.26	43.66	26.96	326.88
2002	250.42	46.04	29.76	326.22
2003	220.19	47.20	32.08	299.47
2004	235.70	46.86	33.84	316.40
2005	220.79	48.90	29.60	299.29
2006	222.10	50.30	31.19	303.60
2007	218.70	50.65	27.88	297.23
2008	201.77	52.24	28.20	282.20
2009	207.57	52.12	29.15	288.84
2010	204.73	52.03	27.95	284.71
2011	197.41	49.66	28.46	275.52
2012	200.54	52.17	27.41	280.12
2013	195.22	50.29	24.08	269.59
2014	191.36	53.37	23.92	268.65
2015	186.02	52.63	22.44	261.09
2016	188.98	52.01	20.45	261.44
2017	178.08	51.77	20.89	250.75
2018	175.33	54.15	22.91	252.38
2019	164.79	52.74	21.66	239.19
2020	174.07	54.13	21.81	250.01
2021	157.01	54.62	20.79	232.42
2022	152.24	53.87	20.61	226.72
2023	144.25	54.01	19.93	218.19

3.不確定性與時間序列的一致性

(1)不確定性

A.揮散

農業土壤氧化亞氮間接排放-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 2006 IPCC 指南建議以蒙地卡羅方法進行不確定性評估。農業土壤氧化亞氮間接排放-揮散不確定性以蒙地卡羅方法進行，活動數據使用 2023 年數值，其不確定性範圍如表 5.5.18 所示。全球暖化潛勢(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值。各基本參數數值模擬次數為 1,000 次，評估結果如表 5.5.18 所示，農業土壤氧化亞氮間接排放-揮散之不確定性為-34.63%~35.48%。

B.淋洗/逕流

農業土壤氧化亞氮間接排放-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。因此農業土壤氧化亞氮間接排放-淋洗/逕流之不確定性以蒙地卡羅方法進行，活動數據使用 2023 年數值，其不確定性範圍如表 5.5.19 所示。全球暖化潛勢(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值。各基本參數數值模擬次數為 1,000 次。估算結果如表 5.5.19 所示，農業土壤氧化亞氮間接排放-淋洗/逕流之不確定性為-48.01%~233.94%。

(2)時間序列的一致性

農業土壤氧化亞氮間接排放時間序列的一致性，同章節 5.5.1 農業土壤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 水稻種植(3.C)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。

5.6 草原焚燒(3.E)

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

表 5.5.18 農業土壤氧化亞氮間接排放-揮散之揮散係數、排放係數、活動數據及不確定性

項目		2023 年活動數據	轉換係數	氮投入量（公噸氮）	揮散係數（公斤/公斤）	N_2O-N 排放係數（公斤/公斤）	N_2O-N 排放量（千公噸二氧化碳當量）
化學肥料	硫酸銨	79,077 (-4.90% ~ 4.92%)	含氮量(%)： 硫酸銨：21%； 尿素：46%； 硝酸銨鈣：20%； 複合肥料：17.3%	131,208 (-3.78% ~ 3.75%)	0.15 (0.03 ~ 0.43)	0.014 (0.011 ~ 0.017)	84.1 (-3.69% ~ 3.77%)
	尿素	26,822 (-4.54% ~ 5.04%)			0.08 (0.02 ~ 0.30)		
	硝酸銨鈣	250 (-4.91% ~ 4.69%)			0.01 (0.00 ~ 0.02)		
	複合肥料	590,835 (-4.73% ~ 4.72%)			0.05 (0.00 ~ 0.20)		
有機氮肥	水稻田	169.43 公噸氮 (-1.78%~2595.55%)	乾物比 0.78 (-9.79% ~ 9.72%) 氮量 2.4% (0.50% ~ 4.00%)	49,128 (-81.09% ~ 84.34%)	0.2 (0.05 ~ 0.50)		60.15 (-81.09% ~ 84.34%)
	旱田	48,958.53 公噸氮 (-88.65% ~ 131.16%)					
小計							144.25 (-34.63% ~ 35.48%)

表 5.5.19 農業土壤氧化亞氮間接排放-淋洗/逕流之排放係數、活動數據及不確定性

項目			2023 年活動數據	轉換係數		氮投入量（公噸氮）		淋洗/逕流係數（公斤/公斤）	N_2O-N 排放係數（公斤/公斤）	排放量（千公噸二氧化碳當量）
化學氮肥			131,208 (-3.78% ~ 3.75%)	-		131,208 (-3.78% ~ 3.75%)		0.24 (0.01 ~ 0.73)	0.011 (0.000 ~ 0.020)	144.25 (-68.74% ~ 313.47%)
有機氮肥	水稻田		169.43 公噸氮 (-1.78% ~ 2595.55%)	乾物比 0.78 (-9.79% ~ 9.72%) 氮量 2.4% (0.50% ~ 4.00%)		49,128 (-81.09% ~ 84.34%)				53.82 (-83.50% ~ 405.58%)
	旱田		48,958.53 公噸氮 (-88.65% ~ 131.16%)							
作物殘體	作物殘體分類		作物殘體量（公噸）	乾物比	殘體比 (±50.00%)	氮量 (±50.00%)	殘體氮量（公噸氮）			
	水稻		1,234,558 (31.58% ~ 44.91%)	1 (±10.00%)	1	0.007	8,642 (-54.20% ~ 143.65%)			19.93 (30.80% ~ 75.32%)
	非固氮穀物作物	乾物	107,787 (-4.73% ~ 4.46%)	0.88 (-8.61% ~ 8.47%)	1.53	0.007	1,016 (-64.63% ~ 79.13%)			
		鮮物	126,357 (-4.94% ~ 4.99%)	0.22 (-16.64% ~ 19.45%)	1.53	0.008	340 (-59.92% ~ 84.06%)			

項目			2023 年活動數據	轉換係數		氮投入量（公噸氮）		淋洗/逕流係數（公斤/公斤）	N_2O-N 排放係數（公斤/公斤）	排放量（千公噸二氧化碳當量）
	固氮作物	乾物	60,262 (-3.72% ~ 3.43%)	0.91 (-11.19% ~ 10.85%)	1.83	0.008	803 (-62.55% ~ 72.49%)			
		鮮物	88,869 (-4.36% ~ 4.38%)	0.22 (-17.97% ~ 16.74%)	1.83	0.016	572 (-61.46% ~ 81.26%)			
	根莖類作物（鮮物）		688,688 (18.47% ~ 22.09%)	0.22 (-18.98% ~ 18.87%)	0.41	0.016	994 (-54.51% ~ 116.71%)			
	固氮綠肥（鮮物）		1,054,139 (-2.72% ~ 2.50%)	1 (±10.00%)	1	0.0048	5,060 (-55.61% ~ 65.66%)			
	非固氮綠肥（鮮物）		107,831 (-3.66% ~ 3.39%)	1 (±10.00%)	1	0.0021	226 (-92.74% ~ 130.67%)			
	非固氮牧草（鮮物）		946,918 (-4.80% ~ 4.68%)	0.22 (-19.03% ~ 17.68%)	0.46	0.015	479 (-60.77% ~ 93.03%)			
小計										218 (-48.01% ~ 233.94%)

備註：資料由農業統計年報彙整而來，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、芝麻等。

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、薑、芋、蔥、馬鈴薯、洋蔥、青蒜、蒜頭等。

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（大菜約占半數）、混播等。

8.非固氮牧草（鮮物）：盤固拉草、狼尾草、其他牧草等。

資料來源：農業部，農業統計年報，2024。

5.7 作物殘體燃燒(3.F)

本項估算農作物殘體因焚燒而產生之非二氧化碳溫室氣體排放量。依據 2006 IPCC 指南建議，因假設焚燒過程中釋放的碳會在次一生長期被作物或植物再吸收，故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、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 指南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 指南方法 1(Tier 1)與係數計算，公式 5.7.1 所示。

公式 5.7.1：

作物殘體焚燒產生的溫室氣體排放量(L，公噸甲烷及公噸氧化亞氮)

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

M_B：焚燒物的單位面積重量，稻藁的重量（公噸）

C_f：焚燒係數（無單位，表 5.7.1）

G_{ef}：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 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，1990 年至 2000 年引自農業統計年報：自給肥料-草木灰（稻草經焚燒後之灰燼），以焚燒殘餘量為 20%推算被焚燒稻藁之量，2001 年後引自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

歷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 5.7.4、圖 5.7.1 所示。我國於 1990 年 3 月立法禁止焚燒稻草、農業部自 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，2023 年甲烷排放量相較於 1990 年、2005 年減少約 96.84%、85.01%，但相較於 2022 年增加 75.00%；而氧化亞氮相較於 1990 年、2005 年減少約 96.81%、84.86%，但相較於 2022 年增加 73.86%，主要係因部分地區防治害蟲考量焚燒稻草所致，但整體而言以較 1990 年大幅降低。

(5)完整性

因我國的農業殘體焚燒主要是以水稻稻藁為主，其他如豆類、玉米、甘蔗等僅能視為鮮少發生，且在無統計資料下，並未列入計算。

3.不確定性與時間序列的一致性

(1)不確定性

活動數據係農業部統計數據,依2006 IPCC 指南設定不確定性為 5.00%；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，1990 年至 2000 年焚燒量作物殘體焚燒之活動數據引自農業統計年報：自給肥料-草木灰（稻草經焚燒後之灰燼），以焚燒殘餘量為 20%推算被焚燒稻藁之量，而 2001 年後為直接引用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 水稻種植(3.C)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)

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($CaCO_3$)或白雲岩($CaMg(CO_3)_2$)等，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。依據國內研究估算（連深等人，1992）[31]，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。

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(C_f)
作物殘體	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 作物殘體排放係數（公斤/公噸乾物質焚燒量）

項目	甲烷	氧化亞氮
排放係數	2.70	0.07

[31] 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，中華土壤肥料學會，pp. 8-1~8-12.，1992。

表 5.7.3 歷年作物殘體焚燒量

（單位：公噸）

年	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
2017			65,817
2018			46,197
2019			39,789
2020			13,741
2021			12,056
2022			12,552
2023			22,013

備註：1990 年至 2000 年引自農業統計年報：自給肥料-草木灰，以焚燒殘餘量 20%推算焚燒稻藁量。2001 年後引自綠色國民所得帳：稻藁焚燒量。

資料來源：1.農業部，農業統計年報，2024。

2.行政院主計總處，綠色國民所得帳編製報告，2024。

表 5.7.4 作物殘體焚燒產生之甲烷與氧化亞氮 3.F 總排放量

（單位：千公噸二氧化碳當量）

年	甲烷排放量	氧化亞氮排放量
1990	42.13	10.34
1991	27.73	6.80
1992	53.26	13.07
1993	24.35	5.97
1994	23.38	5.74
1995	8.31	2.04
1996	7.78	1.91
1997	7.96	1.95
1998	6.32	1.55
1999	7.72	1.89
2000	15.42	3.78
2001	16.87	4.14
2002	14.39	3.53
2003	9.92	2.43
2004	8.67	2.13
2005	8.87	2.18
2006	9.42	2.31
2007	5.11	1.25
2008	6.84	1.68
2009	5.65	1.39
2010	5.94	1.46
2011	6.00	1.47
2012	6.05	1.48
2013	3.69	0.91
2014	4.03	0.99
2015	4.53	1.21
2016	3.70	0.91
2017	3.98	0.98
2018	2.79	0.69
2019	2.41	0.59
2020	0.83	0.20
2021	0.73	0.18
2022	0.76	0.19
2023	1.33	0.33

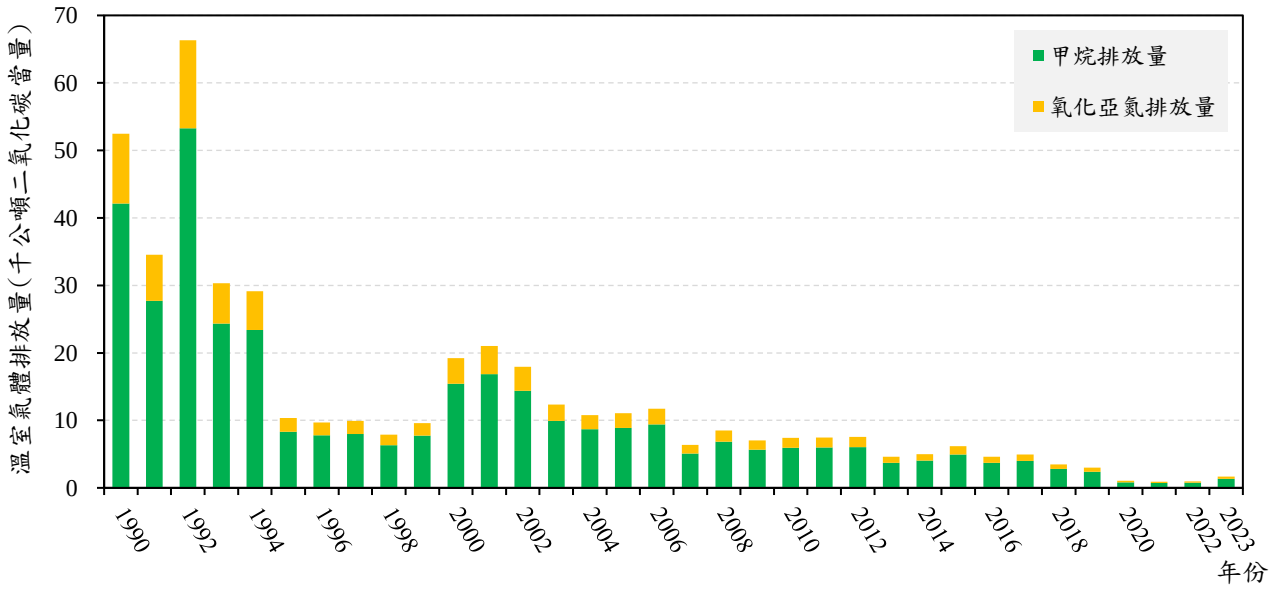

圖 5.7.1 1990 年至 2023 年作物殘體焚燒之甲烷與氧化亞氮排放量

5.9 尿素施用(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($CO(NH_2)_2$)在水分和尿素酶作用下轉化為銨離子(NH_4^+)、氫氧離子(OH^-)和碳酸氫離子(HCO_3^-)，而碳酸氫根最後轉變為二氧化碳和水。

施用尿素亦會造成氧化亞氮排放，但已於農業土壤排放源計算，本項排放源僅考慮施用尿素後造成之二氧化碳排放。

2.方法論議題

(1)計算方法

參照 2006 IPCC 指南方法 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_2-C 排放量換算成二氧化碳排放量。

公式 5.9.1：

施用尿素產生的年二氧化碳排放量（CO_2-$C_{Emission}$，公噸碳/年）

=M × EF

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）

(2)排放係數

尿素的排放係數採用 2006 IPCC 指南的預設值 0.20，係因尿素($CO(NH_2)_2$)原子量的碳含量佔 20%。

(3)活動數據

活動數據引用自農業統計年報中台灣地區肥料產銷量(值)統計表中之尿素用量，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整體呈現下降趨勢，2023 年排放量較 1990、2005 及 2022 年減少 86.11%、68.43%、12.11%。

(5)完整性

農業統計年報針對尿素施用量已有完整紀錄，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 2006 IPCC 指南預設值為-50.00%~0.00%，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。活動數據引自農業統計年報，依 2006 IPCC 指南設定其不確定性 5.00%。利用誤差傳播法組合不確定性，其不確定性為-50.00%~5.00%，計算方式如下：

上限：

$$\mathbf{U_{urea\ apply\ CO_2}} = \sqrt{\mathbf{0^2 + 5^2}} = \mathbf{5.00}\%$$

下限：

$$\mathbf{U_{urea\ apply\ CO_2}} = -\sqrt{\mathbf{50^2 + 5^2}} = \mathbf{-50.00}\%$$

(2)時間序列的一致性

活動數據於 1990 年至 2023 年均引用自農業統計年報，排放係數皆為 IPCC 預設值，故具時間序列之一致性。

4.特定排放源的 QA/QC 及查證

同章節 5.4 水稻種植(3.C)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)

依據農業統計年報，其他含碳肥料以及氰氨化鈣(calcium cyanamide, $CaCN_2$)，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)

本項未統計估算。

表 5.9.1 歷年尿素施用量與施用產生之二氧化碳排放

年度	尿素施用量	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
2017	42,861	31.43
2018	40,524	29.72
2019	39,917	29.27
2020	40,196	29.48
2021	36,293	26.61
2022	30,513	22.38
2023	26,822	19.67

資料來源：農業部，農業統計年報，2024。

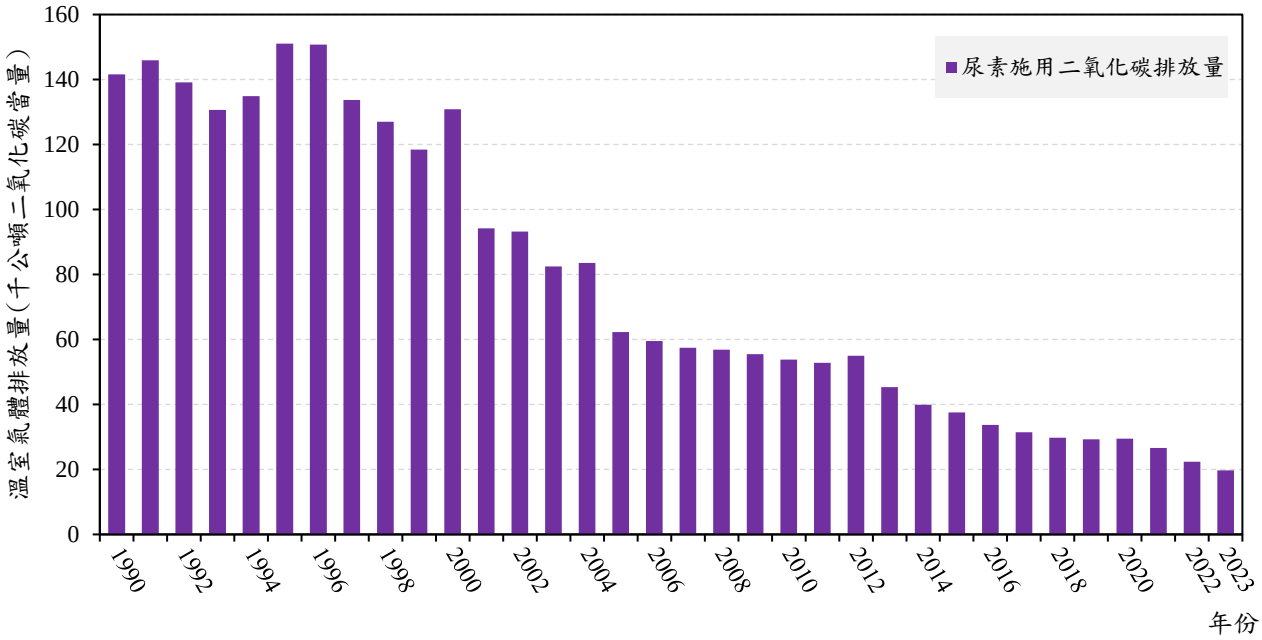

圖 5.9.1 1990 年至 2023 年尿素施用二氧化碳排放趨勢

5.12 參考文獻

1. IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006.
2. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report (AR5) of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013.
3. IPCC, Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Volume 1, Chapter 3, 2006.
4. IPCC, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Switzerland, 2019.
5. Wang, S.Y. and Huang, D.J., Assessment of greenhouse gas emissions from poultry enteric fermentation, Asian-Australian Journal of Animal Science, 18(6), 873-878, 2005
6. Su, J.J., Liu, B.Y. and Chang, Y. C., Emission of greenhouse gas from livestock waste and wastewater treatment in Taiwan, Agriculture Ecosystem & Environment 95, 253-263, 2003.
7. 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.
8. Institute for Environmental Protection and Research (ISPRA), Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2016 National Inventory Report, Italian, 2018.
9. Ministry of the Environmentof Japan, National Greenhouse Gas Inventory Report of Japan, Japan, 2018.
10. 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.
11. 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.
12. Yang, S. S., Lai, C. M., Chang, H. L., Chang, E. H. and Wei, C. B., Estimation of methane and nitrous oxide emissions from paddy fields in Taiwan, Renewable Energy, 34, 1916-1922, 2009.
13. 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。
14. 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。
15. 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。
16. 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之評估，中國畜牧學會會誌，32(4)，151，2003。
17. 行政院農業委員會（現為農業部），畜禽統計調查結果，2021。
18. 黃大駿，臺灣地區肉雞產業溫室氣體排放之探討，中國文化大學碩士論文，2000。
19. 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。
20. 王淑音，臺灣家禽溫室氣體糞尿處理策略，2010。
21. 王淑音、馬維君，蛋雞糞尿處理之溫室氣體排放，華岡農科學報，10：1-14，2002。
22. 行政院農業委員會畜牧司（現為農業部畜牧司），2014 年「畜牧業溫室氣體排放清冊彙整及國外畜牧業清潔發展機制(CDM)之探討計畫」（103 農科-2.1.4-牧-U2(3)）之第一次專家諮詢會會議紀錄，2014。

23. 行政院農業委員會畜牧司（現為農業部畜牧司），2020 年「畜牧業溫室氣體排放清冊及趨勢探討」（109 農科-2.4.2-牧-U1(1)）-第 1 次專家諮詢會議紀錄，2020。

24. 行政院農業委員會畜牧司（現為農業部畜牧司），2020 年「畜牧業溫室氣體排放清冊及趨勢探討」（109 農科-2.4.2-牧-U1(1)）-第 2 次專家諮詢會議紀錄，臺北，2020。

25. 丁文彥，陸稻-東陸 1、2、3 號品種介紹，臺東區農業專訊，79:8-11，2012。

26. 行政院農業委員會（現為農業部），臺灣農家要覽，1995。

27. 行政院主計總處，綠色國民所得帳編製報告，2024。

28. 行政院農業委員會（現為農業部），肥料要覽，2001。

29. 農業部，中華民國 112 年農業統計年報，2024。

30. 行政院農業委員會農糧署（現為農業部農糧署），作物施肥手冊，2005。

31. 農業部農糧署，農糧統計\公務統計\臺灣地區肥料產銷量值，http://www.afa.gov.tw/，2024。

32. 農業部，農業情報 112 年 1 月農業產銷概況，農政與農情第 369 期，2023。

33. 有機農業全球資訊網，http://info.organic.org.tw/supergood/front/bin/home.phtml。

34. 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。

35. 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（現為農業部）高雄區農業改良場研究彙報，10(2)，22-31，1999。

36. 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。

37. 連深、王鐘和、黃維廷，石灰資材之品質及評估，中華土壤肥料學會，酸性土壤之特性及其改良研討會論文集，8-1-8-12，1992。

38. 郭鴻裕，臺灣地區酸性土壤之分佈及其利用現況，中華土壤肥料學會，酸性土壤之特性及其改良研討會論文集，3-1-3-7，1992。

39. 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，行政院農業委員會農業試驗所（現為農業部農業試驗所），有機質肥料合理施用技術研討會專刊，72-83，1995。

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

41. 陳琦玲、廖崇億、胡正宏、陳孟妘、林旻頡、蔡徵霖、莊秉潔、廖大經、王瑞章、張錦興，臺灣中部水稻田甲烷排放量測與估算，亞熱帶生態學學會、臺灣長期生態研究網、臺灣通量研究網聯合年會，2019。

42. 黃勝忠、宋勳，臺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。

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. 譚增偉、劉禎祺、陳桂暖，土壤肥力與合理化施肥，行政院農業委員會農業試驗所（現為農業部農業試驗所），合理化施肥專刊，43-62，2005。

45. 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。

46. 李春芳、王嘉惠、吳啟瑞、范耕榛、洪鈴柱、程梅萍、蕭宗法，國內豬活體溫室氣體排放量調查，中國畜牧學會會誌，44(suppl.):259，2015。

47. 李春芳、王嘉惠、蕭宗法、范耕榛，臺灣乳山羊活體溫室氣體排放係數建立，中國畜牧學會會誌，51(suppl.):189， 2022。