

# 台灣雜糧發展基金會補助計畫112年度期末摘要報告

## 豬隻碳排當量及碳足跡計算模組之建立

計畫編號：112-02-002

執行機關：中華民國飼料檢驗學會

計畫主持人：翁瑞奇

2023.12.14

# 前言

# 農業部門溫室氣體排放

- 3.A 「畜禽腸胃發酵」
- 3.B 「畜禽糞尿管管理」
- 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」。

# 農業部門排放源分類與其所使用方法學

- 畜牧產業之排放源有「畜禽腸胃發酵」(甲烷)及「畜禽糞尿管理」(甲烷及氧化亞氮)
- 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，計算方式係為各畜種排放係數乘上年度活動數據之加總
- 產乳牛及其他牛之排放係數計算方法經專家諮詢會通過後，採用 2006 IPCC 指南方法 2；家禽之排放係數計算方法經專家諮詢會通過後，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。

- IPCC(2006)指南中豬隻腸胃發酵甲烷排放係數以每年每頭1.5公斤為計算標準，其標準係數不考慮飼料型態、生理階段、環境條件等差異

以2022年為例：

- $1.5 \text{ 公斤 CH}_4/\text{頭}/\text{年} * 5,512,274 \text{ 頭} * 25 = 206,710,275 \text{ 公斤 CO}_2/\text{年}$   
 $= 260.71 \text{ 千公噸二氧化碳}$

表 5.2.3 1990 至 2020 年畜禽腸胃發酵之甲烷排放量

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年份	細分類	產乳牛	其他牛	水牛	山羊	豬	白色肉雞	有色肉雞	蛋雞	鵝	鴨	合計
1990		144.93	138.28	30.08	25.08	321.20	0.03	0.29	6.86	0.18	1.98	669.62
1991		154.60	136.32	25.60	26.87	378.34	0.04	0.27	7.02	0.17	1.80	731.04
1992		166.68	141.39	22.86	30.91	365.79	0.04	0.29	7.38	0.21	2.01	737.56
1993		180.31	147.02	22.67	45.70	369.18	0.05	0.31	7.62	0.24	2.25	775.36
1994		183.93	145.56	20.50	50.08	377.46	0.05	0.32	8.48	0.32	2.01	788.72
1995		207.59	137.55	17.71	53.78	394.07	0.06	0.32	8.75	0.29	2.10	822.22
1996		196.55	143.16	15.42	53.52	401.19	0.06	0.35	9.67	0.27	2.05	822.24
1997		204.18	147.10	13.20	55.32	298.76	0.07	0.38	10.42	0.28	2.02	731.73
1998		208.02	145.20	11.76	20.32	245.20	0.08	0.37	10.71	0.30	1.74	673.70
1999		206.96	144.49	12.63	45.39	271.62	0.07	0.37	10.84	0.28	1.72	694.38
2000		206.85	141.13	10.68	39.38	281.06	0.08	0.37	10.90	0.24	1.66	692.35
2001		203.68	129.97	8.98	35.51	268.67	0.08	0.34	10.59	0.24	1.56	659.62
2002		201.78	127.91	7.38	31.22	254.77	0.07	0.35	10.60	0.23	1.50	635.83
2003		185.98	135.82	6.75	30.13	254.20	0.08	0.33	10.67	0.24	1.51	625.71
2004		170.81	136.98	6.82	31.17	255.71	0.08	0.31	10.44	0.25	1.58	614.15
2005		166.38	134.59	5.64	33.47	269.80	0.07	0.30	10.71	0.24	1.65	622.84
2006		163.61	132.05	4.86	34.00	265.94	0.07	0.29	10.89	0.25	1.87	613.84
2007		166.29	143.68	4.75	31.84	249.00	0.07	0.29	10.69	0.22	1.81	608.65
2008		164.59	130.95	4.95	29.38	241.62	0.07	0.26	10.86	0.19	1.55	584.44
2009		166.48	129.48	5.31	26.60	230.47	0.08	0.26	10.77	0.17	1.43	571.04
2010		172.94	129.99	5.29	25.61	231.97	0.08	0.26	10.68	0.18	1.48	578.46
2011		178.88	134.21	4.99	23.81	234.96	0.08	0.28	10.71	0.19	1.49	589.59
2012		184.98	134.81	4.37	20.89	225.18	0.07	0.25	10.73	0.18	1.41	582.87
2013		189.21	135.65	3.45	20.11	217.73	0.07	0.22	10.86	0.19	1.68	579.18
2014		187.97	133.74	3.35	19.72	207.94	0.08	0.23	11.16	0.21	1.90	566.31
2015		193.46	136.97	3.18	19.51	206.11	0.08	0.22	11.29	0.05	1.74	572.60
2016		186.40	135.66	2.80	18.25	204.09	0.08	0.24	11.66	0.06	1.80	561.04
2017		189.29	135.95	2.83	18.09	203.73	0.08	0.23	11.86	0.09	1.88	564.03
2018		193.80	138.69	2.89	17.69	204.27	0.09	0.23	12.18	0.10	1.84	571.80
2019		193.32	139.86	2.71	16.85	206.78	0.10	0.24	12.65	0.11	1.92	574.54
2020		196.77	142.42	2.91	16.32	206.71	0.10	0.23	12.84	0.14	1.80	580.25

# 排放係數則採用 2006 IPCC 指南方法 1

- 計算基礎以飼糧總能及0.6%總能甲烷轉換率來估算豬隻腸胃發酵甲烷產生量

$$1.5 \text{ 公斤 } \text{CH}_4/\text{頭}/\text{年} = 4.1 \text{ 克 } \text{CH}_4/\text{頭}/\text{天} = 5.726 \text{ 公升 } \text{CH}_4/\text{頭}/\text{天}$$

- 致使其計算結果並無法代表各國實際的狀況，
- 很多國家開始建立各自的溫室氣體排放係數並且將飼料型態、生理階段、環境條件等差異列入評估方法中

- Vermorel et al. (2008) 估算，法國斷奶仔豬（20公斤以下）、育肥豬（20公斤起）和繁殖母豬的腸道CH<sub>4</sub>日排放量分別為0.8、2.4和8.2克CH<sub>4</sub>/頭，(DE為計算基礎)。
- Dämmgen et al. (2012) 分別提出了0.9、2.5和6.1 g CH<sub>4</sub>/頭的德國生產的相應值(ME為計算基礎)。
- Jørgensen et al. (2015) 丹麥仔豬僅為0.13公升(0.093克)/天或GE的0.1%。對於生長豬的飼料低纖維日糧或標準日糧，CH<sub>4</sub>排放量估計為GE的0.2%至0.5%，肥育豬平均為3.4公升(2.434克)/天，在限飼的乾母豬和懷孕母豬的CH<sub>4</sub>排放量為GE的0.6%至2.7%，具體取決於餵飼水準和纖維類型，而哺乳母豬的CH<sub>4</sub>排放量估計約為GE的0.6%(DE為計算基礎)。
- 在所有試驗結果中，母豬的CH<sub>4</sub>排放量都超過了IPCC建議的標準換算率0.6%的GE。

- 台灣因有關豬隻腸胃發酵甲烷排放之相關研究，自2015年以後便中斷，致使對於豬隻腸道甲烷產生量的計算一直引用 2006 IPCC 指南的預設係數。
- 畜試所曾歷時四年針對國內豬隻活體溫室氣體排放量進行調查研究(李等人，2015)，並將摘要發表於 2015年12月份的中國畜牧學會會誌，但是該研究結果(摘要)並未被國家溫室氣體清冊採用。

- 畜試所2015年發表於中國畜牧學會會誌的摘要顯示，以簡易氣體室採集進出氣體，並以氣相層析儀測定進、出氣體中甲烷與二氧化碳濃度差異，同時以103年農業統計年報豬隻年底在養頭數為加權的情況下，計算台灣豬隻腸胃發酵甲烷排放係數的結果為每日每頭3.04公克 (IPCC=4.1公克) 或每年每頭1.11公斤 (IPCC=1.5公斤)；但是國家溫室氣體清冊因該研究只有摘要並不完備而未予採用

# 引用其他國家標準試算結果

年別及地區別	養豬場數 Number of Pig Farms	年底頭數 Head on Farms, at the End of the Year							供應屠宰 Supply for Slaughtering		
		合計 Total	種豬 Breeding Hog		哺乳小豬 Piglets	肉豬 Hogs			頭數 Head	活體重量 Live Weight	屠體重量 Carcass Weight
			公 Male	母 Female		未滿30公斤 Under 30kg	30-60公斤 30-60kg	60公斤以上 Above 60kg			
		場 farm	頭 head	頭 head	頭 head	頭 head	頭 head	頭 head	頭 head	公噸 m.t.	公噸 m.t.
109	6 497	5 512 274	19 573	595 503	764 692	1 380 085	1 351 947	1 400 474	8 184 152	1 022 855	843 856
110	6 308	5 471 588	18 865	596 285	760 140	1 359 537	1 357 974	1 378 787	8 036 288	999 955	824 963
111	5 991	5 316 431	18 062	583 226	745 784	1 335 078	1 296 191	1 338 090	7 847 136	980 421	808 847
										CH4	CO2
Vermorel et al. (2008)	法國		8.2	8.2	0.8	0.8	2.4	2.4		千公噸/年	千公噸/年
			160499	4883125	611753.6	1104068	3244672.8	3361137.6	13365255	4878.3181	121.96
Dämmgen et al. (2012)	德國		6.1	6.1	0.9	0.9	2.5	2.5			
			119395	3632568	688222.8	1242076.5	3379867.5	3501185	12563315	4585.6101	114.64
Jørgensen et al. (2015)	丹麥		8.2	8.2	0.8	0.8	2.4	2.4			
			160499	4883125	611753.6	1104068	3244672.8	3361137.6	13365255	4878.3181	121.96
畜試所			1.11								
			6118624.1						6118624.1	6.1186241	152.97
IPCC			1.5								
			8268411						8268411	8.268411	206.71

- 有鑒於此，本計畫擬採用三階段體外消化法，作為估算國內豬隻腸胃發酵甲烷排放係數本土值及豬隻糞尿管管理排放甲烷係數本土值之研究法，建立符合台灣飼養環境的豬隻碳排當量本土係數值，釐清人們對畜牧業排放溫室氣體量之誤解，提供養豬業者精確計算碳排當量及未來相關產品碳足跡之計算，以因應減碳生產之國際趨勢。

# 以化學分析值推估豬飼量能量值

Equations <sup>a</sup>	r <sup>2</sup>
DE = 4477 – 10.0 × Ash + 3.8 × EE - 7.1 × CF	0.82
DE = 4443 – 6.9 × Ash + 3.9 × EE – 4.0 × NDF	0.88
DE = 4151 – 12.2 × Ash + 2.3 × CP + 3.8 × EE – 6.4 × CF	0.89
DE = 4168 – 9.1 × Ash + 1.9 × CP + 3.9 × EE – 3.6 × NDF	0.92
DE = 1407 + 0.657 × GE – 9.0 × Ash + 1.4 × CP – 6.7 × CF	0.86
DE = 1161 + 0.749 × GE – 4.3 × Ash – 4.1 × NDF	0.91
DE = 949 + 0.789 × GE – 3.5 × Ash – 3.8 × NDF – 5.4 × ADL	0.92
DE = 1007 + 0.750 × GE – 4.6 × Ash + 0.8 × CP – 3.6 × NDF – 5.0 × ADL	0.93
ME = 4369 – 10.9 × Ash + 4.1 × EE - 6.5 × CF	0.87
ME = 4334 – 8.1 × Ash + 4.1 × EE -3.7 × NDF	0.91
ME = 4168 – 12.3 × Ash + 1.4 × CP + 4.1 × EE - 6.1 × CF	0.88
ME = 4194 – 9.2 × Ash + 1.0 × CP + 4.1 × EE – 3.5 × NDF	0.92
ME = 1255 + 0.712 × GE – 8.5 × Ash – 6.6 × CF	0.85
ME = 1099 + 0.740 × GE - 5.5 × Ash – 3.7 × NDF	0.91

Noblet J, Perez JM. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. J Anim Sci. 1993;71:3389–98.

# 肉豬飼量體內消化率與體外消化率的相關

Prediction equations of digestibility of organic matter (OMd) or energy (Ed) and digestible energy and net energy contents (DE and NE, MJ/kg of dry matter) of pig feeds from *in vitro* digestibility of organic matter (OMdv), or quantity of *in vitro* digestible organic matter (DOMv, g/kg dry matter) and chemical characteristics (g/kg dry matter).

No.	Equation <sup>a</sup>	R <sup>2</sup>	RSD
1	OMd = 0.099 + 0.891 OMdv	0.82	0.017
2	OMd = 0.316 + 0.671 OMdv – 0.00067 CF	0.87	0.014
3	OMd = 0.367 + 0.651 OMdv – 0.00060 CF – 0.00064 ash	0.89	0.014
4	OMd = 0.362 + 0.624 OMdv – 0.00070 ADF	0.88	0.014
5	OMd = 0.409 + 0.608 OMdv – 0.00063 ADF – 0.00061 ash	0.90	0.013
6	Ed = 0.976 OMdv	0.77	0.020
7	Ed = 0.301 + 0.663 OMdv – 0.00077 CF	0.84	0.017
8	Ed = 0.355 + 0.640 OMdv – 0.00068 CF – 0.00068 ash	0.85	0.016
9	Ed = 0.362 + 0.602 OMdv – 0.00082 ADF	0.85	0.016
10	Ed = 0.410 + 0.585 OMdv – 0.00074 ADF – 0.00064 ash	0.87	0.015
11	DE = 0.0189 DOMv	0.60	0.57
12	DE = 1.12 + 0.0168 DOMv + 0.0184 EE	0.83	0.37
13	DE = 5.02 + 0.0127 DOMv + 0.0172 EE – 0.0124 CF	0.87	0.33
14	DE = 6.05 + 0.0116 DOMv + 0.0166 EE – 0.0135 ADF	0.88	0.32
15	NE = 2.42 + 0.0078 DOMv + 0.0041 ST + 0.0203 EE – 0.0099 CF	0.94	0.22
16	NE = 3.22 + 0.0072 DOMv + 0.0039 ST + 0.0197 EE – 0.0109 ADF	0.94	0.20

<sup>a</sup> Equations established from the data obtained on 79 compound feeds presented as mash (see Table 1); all the coefficients are significant ( $P < 0.01$ ). Ash: crude ash, CF: crude fiber, ADF: acid detergent fiber, ST: starch, EE: ether extract; NE calculated from Eqs. (4 and 5) (average value) of Noblet et al. (1994).

# 三階段體外消化率

- 第一階段：在酸性磷酸緩衝溶液環境下添加豬胃蛋白酶模擬胃部消化
- 第二階段：在鹼性磷酸緩衝溶液環境下添加豬胰蛋白酶模擬小腸消化
- 第三階段：在弱酸性磷酸緩衝溶液環境下添加複合酶模擬大腸消化

# 修改三階段體外消化率

- 第一階段：在酸性磷酸緩衝溶液環境下添加豬胃蛋白酶模擬胃部消化
- 第二階段：在鹼性磷酸緩衝溶液環境下添加豬胰蛋白酶模擬小腸消化
- 第三階段：在弱酸性磷酸緩衝溶液環境下添加新鮮稀釋糞便模擬大腸微生物消化
- 新鮮稀釋糞便採自適應標的飼料14天以上健康豬隻混合樣品

# 112年度 (本年)目標

- (1)比較標準飼糧三階段體外消化法
- (2)以三階段體外消化法驗證商用飼料廠及其客戶之豬隻腸胃發酵甲烷排放係數。

# 比較標準飼糧三階段體外消化法

- 依NRC(2012)豬隻營養需求量配置以下五種飼糧：
  - (1) 粗蛋白質14%母豬懷孕期飼糧；
  - (2) 粗蛋白質18%母豬哺乳期飼糧；
  - (3) 粗蛋白質20%仔豬保育期飼糧；
  - (4) 粗蛋白質16%豬隻生長期飼糧；
  - (5) 粗蛋白質15%豬隻肥育期飼糧等五種標準飼糧
- 標示編號後委託送檢。

年別及地區別	養豬場數 Number of Pig Farms	年底頭數 Head on Farms, at the End of the Year							供應屠宰 Supply for Slaughtering		
		合計 Total	種豬 Breeding Hog		哺乳小豬 Piglets	肉豬 Hogs			頭數 Head	活體重量 Live Weight	屠體重量 Carcass Weight
			公 Male	母 Female		未滿30公斤 Under 30kg	30-60公斤 30-60kg	60公斤以上 Above 60kg			
		場 farm	頭 head	頭 head	頭 head	頭 head	頭 head	頭 head	頭 head	公噸 m.t.	公噸 m.t.
109	6 497	5 512 274	19 573	595 503	764 692	1 380 085	1 351 947	1 400 474	8 184 152	1 022 855	843 856
110	6 308	5 471 588	18 865	596 285	760 140	1 359 537	1 357 974	1 378 787	8 036 288	999 955	824 963
111	5 991	5 316 431	18 062	583 226	745 784	1 335 078	1 296 191	1 338 090	7 847 136	980 421	808 847
										CH4	CO2
Vermorel et al. (2008)	法國		8.2	8.2	0.8	0.8	2.4	2.4		千公噸/年	千公噸/年
			160499	4883125	611753.6	1104068	3244672.8	3361137.6	13365255	4878.3181	121.96
Dämmgen et al. (2012)	德國		6.1	6.1	0.9	0.9	2.5	2.5			
			119395	3632568	688222.8	1242076.5	3379867.5	3501185	12563315	4585.6101	114.64
Jørgensen et al. (2015)	丹麥		8.2	8.2	0.8	0.8	2.4	2.4			
			160499	4883125	611753.6	1104068	3244672.8	3361137.6	13365255	4878.3181	121.96
畜試所			1.11								
			6118624.1						6118624.1	6.1186241	152.97
IPCC			1.5								
			8268411						8268411	8.268411	206.71

# 標準飼糧化學分析結果

	水分 %	灰分 %	脂質 %	粗蛋白質 %	碳水化合物 %	總能 Kcal/kg	粗纖維 %
母豬懷孕期	10.66	4.12	4.95	14.47	65.8	3656	1.8
母豬哺乳期	10.67	5.33	5.22	18.49	60.29	3621	2.51
保育期	10.62	5.56	5.00	20.41	58.41	3603	2.51
生長期	10.53	2.38	5.73	16.25	65.11	3770	1.95
肥育期	10.54	4.74	5.33	15.29	64.1	3655	1.77

# 標準飼糧三階段體外消化

	樣品數	乾物質消化率	DE/GE
		%	
母豬懷孕期	30	0.89	0.82
母豬哺乳期	30	0.84	0.78
保育期	30	0.87	0.85
生長期	30	0.82	0.81
肥育期	30	0.81	0.78

# 商用飼糧化學分析結果(雲林)

	水分 %	灰分 %	脂質 %	粗蛋白質 %	碳水化合物 %	總能 Kcal/kg	粗纖維 %
母豬懷孕期	10.66	6.22	3.74	14.86	64.52	3512	3.19
母豬哺乳期	10.14	5.59	6.57	18.27	59.43	3699	2.39
保育期	9.45	6.38	7.71	19.33	57.13	3752	2.59
生長期	9.84	5.38	7.05	17.30	60.43	3744	2.94
肥育期	9.89	5.17	7.16	17.01	60.77	3756	2.76

# 商用飼糧三階段體外消化(雲林)

	樣品數	乾物質消化率	DE/GE
		%	
母豬懷孕期	30	0.76	0.73
母豬哺乳期	30	0.74	0.74
保育期	30	0.81	0.8
生長期	30	0.78	0.72
肥育期	30	0.72	0.72

# 商用飼糧化學分析結果(屏東)

	水分 %	灰分 %	脂質 %	粗蛋白質 %	碳水化合物 %	總能 Kcal/kg	粗纖維 %
母豬懷孕期	10.38	4.58	4.37	14.76	65.91	3620	2.04
母豬哺乳期	9.87	5.35	6.29	18.45	60.04	3706	2.69
保育期	9.56	5.89	6.19	19.82	58.54	3692	2.25
生長期	10	5.02	5.81	16.83	62.34	3690	2.14
肥育期	10.04	4.62	5.73	16.37	63.24	3700	1.97

# 商用飼糧三階段體外消化(屏東)

	樣品數	乾物質消化率	DE/GE
		%	
母豬懷孕期	30	0.78	0.75
母豬哺乳期	30	0.76	0.74
保育期	30	0.79	0.79
生長期	30	0.74	0.72
肥育期	30	0.74	0.72

# 結論

- 使用新鮮糞便取代複合體外酶法之三階段體外消化法可快速測得豬飼糧中乾物質表面消化率及總能轉化全腸道淨消化能比率
- 乾物質表面消化率介於72~89%；平均為79%
- 總能轉化全腸道淨消化能比率介於72~85%；平均為76.5%
  
- 未來可於上述法之第三階段直接量測大腸段氣體產生之定性及定量估算豬隻腸胃發酵甲烷排放係數
- 必須增加各生理階段商用豬飼糧分析樣品數來提高三階段體外消化法精確度
- 飼糧中纖維種類及濃度會影響豬隻腸胃發酵甲烷排放係數

敬請指教