

研擬雲林縣農業溫室氣體減排及剩餘資材高值化策略

STRATEGIES ON AGRICULTURAL GREENHOUSE GASES REDUCTION AND BIOWASTE VALORIZATION EXEMPLIFIED BY YUNLIN COUNTY

國立臺灣大學
生物環境系統工程學系
博士候選人

林冠廷
Kuan-Ting Lin

雲林縣政府
計畫處
處長

李明岳
Ming-Yueh Lee

國立臺灣大學
生物環境系統工程學系
副教授

潘述元*
Shu-Yuan Pan

雲林縣政府
因應氣候變遷專案辦公室
執行秘書

林世媚
Shih-Mei Lin

行政院農業委員會
農業試驗所
專家諮詢委員

郭鴻裕
Horng-Yuh Guo

台灣農業科技資源
運籌管理學會
理事長

李宜映
Yi-Ying Lee

摘 要

面對氣候變遷與溫室氣體減排之挑戰，農業部門肩負經濟發展、生態保護與糧食安全等任務；然而，實務上縣市層級通常缺乏農業碳排放量及剩餘資材產生量之細部空間資訊，影響減碳行動規劃優先實施地點與目標對象。本研究以雲林縣為例，旨在建立鄉鎮層級之溫室氣體排放與農業剩餘資材盤查方法論，以鄉鎮層級分析溫室氣體排放現況，並進行排放熱點空間分析，確立優先實施對象與潛在實施技術；最後根據農業溫室氣體排放與農業剩餘資材盤點現況，研擬農業減排與循環之行動方案。本研究結果顯示，雲林縣整體農業溫室氣體排放量每年為 694.7 千公噸二氧化碳當量 (CO₂e)，主要排放鄉鎮為崙背鄉、麥寮鄉、二崙鄉、大埤鄉及水林鄉。農業剩餘資材盤點範疇涵蓋綠色國民所得帳未及之地方特有剩餘資源，結果發現：雲林縣農業剩餘資材年產量約 86.9 萬公噸，主要剩餘資材為稻蒿與花生藤，林業主要為廢竹材，畜牧業為禽畜糞，漁業為牡蠣殼。農業剩餘資源產生熱點可評估建置區域生質能資源中心，並可依其特性分別進行不同再利用途徑。

關鍵詞：氣候變遷、溫室氣體、農業剩餘資材、減排、循環、增匯。

* 通訊作者，國立臺灣大學生物環境系統工程學系助理教授

10617 台北市大安區羅斯福路四段 1 號，sypan@ntu.edu.tw

STRATEGIES ON AGRICULTURAL GREENHOUSE GASES REDUCTION AND BIOWASTE VALORIZATION EXEMPLIFIED BY YUNLIN COUNTY

Kuan-Ting Lin

National Taiwan University,
Department of
Bioenvironmental Systems
Engineering

Shu-Yuan Pan*

National Taiwan University,
Department of
Bioenvironmental Systems
Engineering

Horng-Yuh Guo

Taiwan Agricultural Research
Institute Council of Agricultural,
Executive Yuan

Ming-Yueh Lee

Yunlin County Government
Department of Planning

Shih-Mei Lin

Yunlin County Government
Climate Change Project Office

Yi-Ying Lee

Taiwan Agricultural Science and
Technology Resources Logistics
Management Association

ABSTRACT

In response to the pressures of climate change, local governments have developed sustainable action strategies to achieve the net-zero emission target. Agriculture plays a crucial role in economic development, ecological protection, and food security. However, the lack of detailed spatial information on agricultural emissions and biowaste generation poses challenges in prioritizing implementation locations and defining target objectives for mitigation action plans. This research aims to analyze greenhouse gas (GHG) emissions and biowaste in the agricultural sector at the township level, with a specific focus on Yunlin County. A data inventory method is established to assess the current state of GHG emissions and biowaste in the townships. Furthermore, the study conducts spatial hotspot analysis of GHG emissions and evaluates the existing processing mechanisms for agricultural biowastes. The results indicate that Yunlin County's agricultural sector emits a total of 694.7 thousand metric tons of carbon dioxide equivalent per year. The primary townships contributing to emissions include Lunbei, Mailiao, Erlun, Dapi, and Shuilin. The annual production of agricultural biowastes is approximately 869 thousand metric tons, mainly comprising rice straw and peanut vines. The forestry sector primarily contributes waste bamboo materials, while livestock farming produces poultry and livestock manure, and the fishing industry generates oyster shells. This analysis provides valuable information to assist local governments in implementing carbon reduction actions.

Keywords: Climate change, Greenhouse gases, Agricultural waste, Soil carbon sinks, Circular economy.

一、前言

面對氣候變遷威脅，世界各國及台灣紛紛提出 2050 淨零碳排放目標，以減緩全球暖化現象。農業部門肩負經濟發展、生態保護與糧食安全等任務，應針對衝擊制定調適策略與對減緩溫室排放政策措施提出積極作為，以達減緩溫室效應及維護糧食安全永續發展。雲林縣為響應淨零碳排放目標，於 2021 年成立「雲林縣政府因應氣候變遷專案辦公室」，辦公室協助雲林縣逐步落實減碳目標，擬定調適策略，建構適應氣候風險的永續農業、永續城鄉，並擬定 2022 年十大永續行動目標，包含：全面啟動農業碳熱點、剩餘資材盤查；獎勵推動使用可分解性農地膜及蔬果包材；畜牧循環經濟持續全國第一；輔導雲林良品取得碳足跡標籤；縣府率先推動會議或活動禁用一次性餐盒、布條、旗幟；雲林縣工業區重油燃煤鍋爐，全面汰換完成；推動綠屋頂計畫；廚餘回收全堆肥，家戶垃圾燃料化；雲林減碳目標達成 100 萬公噸；輔導縣內中小企業碳中和轉型，朝向 ESG 企業目標（雲林縣政府, 2022）。

然而，各減碳行動的實施優先地點與目標對象資訊仍缺乏，主因為農業碳排放量及剩餘資材產生量對地方政府仍缺乏細部資訊。國內地方政府之溫室氣體盤點成果係以整體城市進行分析，主要參照行政院環保署縣市層級溫室氣體盤查計算指引（環保署, 2011）進行盤查，其計算成果為全縣範圍之部門排放量，缺乏各排放源在全縣範圍內的空間分布資訊，其盤點方法仍有待建立。農業剩餘資材具備豐富的再利用潛力，可視為農業剩餘資材進行再利用，過去農業剩餘資材盤點係以全國為範圍進行統計（農委會, 2022），且盤點之產品範疇係以全國通用為原則，以農糧產生的剩餘資材為例，綠色國民所得帳僅涵蓋稻米、菇類、果樹、果菜等產品類別之剩餘資材，然部分農產品為地方特產，例如雲林縣為落花生最大產地，但產生的花生藤與花生殼剩餘資材為地方重要處理議題，需再釐清其範疇與產生分布資訊。

有鑑於此，本研究係以鄉鎮層級分析農業溫室氣體排放與農業剩餘資材資訊，以雲林縣農業為研究範圍，建立鄉鎮層級資料盤點方法，分析鄉鎮層級溫室氣體排放與農業剩餘資材產生現況，並進行溫室氣體排放空間熱點分析及農業剩餘資材處理現況，研擬農業減排與循環之行動方案，以落實減碳目標。

二、研究方法

2.1 範疇界定

2.1.1 溫室氣體排放源

溫室氣體種類主要包含二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄)、氧化亞氮 (N₂O)、氟氯碳化物 (HFCs)、全氟碳化物 (PFCs)、六氟化硫 (SF₆)、三氟化氮 (NF₃) 等氣體。農業生產活動排放溫室氣體種類主要為二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄) 與氧化亞氮 (N₂O)，排放源可區分「燃料燃燒」及「非燃料燃燒」二類。基於縣政府統計數據為基礎，農業溫室氣體排放範疇為「農業生產過程中所產生與能源使用之溫室氣體」，以 2020 年為盤點時間，詳細評估範疇說明如下：

(1) **燃料燃燒**：屬於能源部門燃料燃燒之 1.A.1 能源部門與 1.A.4 其他部門 (CRF Sector 1) 類別，農、林、漁、牧業之燃料燃燒之排放，包括接駁工具、幫浦燃料使用、穀物乾燥、園藝溫室等使用，故**燃料燃燒類別將蒐集農業排放源之油量與用電量**，例如農機械與設備用油用電、養殖池用油用電、畜禽舍飼料供應、畜禽舍保溫與廢水處理用電、運輸用油、冷鏈用電等項目。

(2) **非燃料燃燒**：屬於農業部門 (CRF Sector 3)，排放源分類範疇包含：**畜禽腸胃發酵、畜禽糞尿處理、水稻種植與農業土壤**。活動資料範圍包含：禽畜飼養頭數（雲林縣政府, 2021）、水稻種植面積（雲林縣政府, 2021）、其他農產品收穫面積、水產養殖面積、農地化學肥料施用量、禽畜糞肥料施用量、各類作物殘體投入土壤量等項目。

2.1.2 農業剩餘資材調查範圍

依農業剩餘資材共同清除處理機構管理辦法，農業剩餘資材係指從事農作、森林、水產、畜牧等動植物產銷所產出之剩餘資材，可分為農業剩餘資材及農業資材剩餘資材二類，其中農業剩餘資材為農產、林產、漁產、畜產等生物性剩餘資材；農業資材剩餘資材則為非生物性剩餘資材。本研究針對農業剩餘資材調查範疇成果如表 1 所示，共包含 17 項雲林縣代表性農產品；上述代表性農產品係透過雲林統計年報、農漁畜年產量資料，取得雲林縣現有的大宗農產、林業、漁產、畜產業種類，建立雲林縣重點農漁畜產業之剩餘資材種類表，隨後採用問卷方式，邀請

縣政府農業處相關業務單位協助確認重點產業類別，以及現有剩餘資材調查成果，以確認農業剩餘資材重點調查範疇。

表 1 雲林縣農業剩餘資材重點調查範疇

產業別	代表產品	剩餘資材種類
農業	水稻	稻殼
		稻藨
	落花生	花生殼
		花生藤
	蒜頭	蒜膜
	胡蘿蔔	果菜殘渣
	短期葉菜類、溫網室作物	果菜殘渣
		果菜廢棄包裝
		廢棄塑膠膜
		廢棄網布
	柳橙	果樹枝條
		包材
	柑橘(碰柑、桶柑)	果樹枝條
		包材
	柚子(文旦、白柚)	果樹枝條
		包材
	咖啡	果樹枝條
		咖啡渣
		包材
	鳳梨	鳳梨皮
		鳳梨葉
		剩餘植株
		包材
	番石榴	果樹枝條
		包材
林業	竹子	廢竹
畜牧業	豬	畜糞
		死廢畜
	產乳牛	畜糞
		死廢畜
	雞	禽糞
		死廢禽
漁業	文蛤	文蛤殼
	牡蠣	牡蠣殼
		廢棄浮具

2.2 計算鄉鎮層級溫室氣體排放量

本研究於計算雲林縣鄉鎮市層級之農業部門溫室氣體排放，主要係採用「排放係數法」計算(環保署, 2011)，分析年份設定為 2020 年，溫室氣體盤點工作依序為：活動數據蒐集、切分、計算排放量，最後將

分析排放熱點。各排放源(i)之排放二氧化碳當量計算公式如式(1)：

$$E_i = A_i \times EF_i \times GWP_i \dots\dots\dots(1)$$

其中， A_i 為各排放源之活動數據，係針對全國與縣市數據予以切分； EF_i 為該排放源之排放係數， GWP_i 為該排放源之全球暖化潛勢係數 (CO_2 為 1、 CH_4 為 25、 N_2O 為 298)。

2.2.1 蒐集農業各排放源之活動數據

農業活動資料依據臺灣農業部門溫室氣體排放源分類，從公開資料庫與報告中彙整雲林縣各鄉鎮層級之農業與畜牧業活動數量。蒐集之活動數據時間為西元 2020 年，各排放源之活動數據來源整理如表 2。燃料燃燒排放源主要參考經濟部能源局能源平衡表的用油資訊(能源局, 2022)與台電公司縣市用電資訊(台電, 2021)，非燃料燃燒資料則參考溫室氣體排放清冊報告(環保署, 2022)、雲林縣統計年報(雲林縣政府, 2021)提供鄉鎮層級資料，可使用之農業活動資料為：農耕土地面積(編號 4-1)、稻米收穫面積及生產量(編號 4-3)、現有家畜數(編號 4-15)、家畜屠宰頭數(編號 4-16)、產乳牛頭數(編號 4-17)、現有家禽數量(編號 4-18)；農業土壤則參考國家溫室氣體排放清冊數據。

表 2 排放源活動計算範疇與活動數據來源

排放源分類		計算範疇	活動數據來源
燃料燃燒	用油 (1.A.1)	農、林、漁、牧業	經濟部能源平衡表
	用電 (1.A.4.c)	農、林、漁、牧業	台電公司縣市用電資訊：農林漁牧售電資訊
非燃料燃燒	畜禽腸胃發酵 (3.A)	產乳牛、其他牛	雲林縣產乳牛頭數
		豬、羊	雲林縣現有家畜數
		雞、鵝、鴨	雲林縣現有家禽數量
	畜禽糞尿處理 (3.B)	產乳牛	雲林縣產乳牛頭數
		豬	雲林縣現有家畜數
		雞	雲林縣現有家禽數量
	水稻種植 (3.C)	水稻	雲林縣稻米收穫面積
	農業土壤 (3.D)	施用於土壤之化肥、有機肥、作物殘體	國家溫室氣體排放清冊

2.2.2 活動數據切分

活動數據蒐集後須檢視其資料範圍層級，再切分

至鄉鎮市層級。用油原始資料係參考我國「2020 年能源平衡表」(其資料為全國性資料)，並蒐集各能源產品之能源熱值；用電資料參考台電公司「縣市用電資訊：農林漁牧售電資訊」(其資料為全雲林縣資料)；非燃料燃燒排放之畜禽腸胃發酵、畜禽糞尿處理、水稻種植排放參考「雲林縣統計年報」，屬於鄉鎮市層級之活動數據；而農業土壤參考國家溫室氣體

排放清冊，屬於全國層級數據。由於用油、用電與農業土壤等活動數據屬於全國資料或縣市資料，故其資料須進行切分，本研究切分方式依照資料可及性與縣市層級溫室氣體盤查計算指引建議，依序切分出全國、縣市與鄉鎮市層級，計算方式詳如表 3 所示。其中，全國及雲林縣之農林漁牧產業產值比例如表 4，雲林縣各鄉鎮市切分數據如表 5 所示。非燃料燃燒排

表 3 排放源活動切分數據計算方式

原始活動數據		層級	切分方式
經濟部能源平衡表	農牧及林業	全國	•縣市/產業切分：各縣市農林牧產值比例推算。
	漁業		•鄉鎮市切分：以農耕土地、畜牧產值推算。
台電公司各縣市住宅、服務業及機關用電統計資料		縣市	•縣市切分：以各縣市漁船總噸數推算，比例為 0.09%。
			•鄉鎮市切分：以漁戶人口數占全縣比例推算。
國家溫室氣體排放清冊：農業土壤		全國	•產業切分：以各縣市農林牧產值比例推算。
			•鄉鎮市切分：以農耕土地面積推算。

註：計算縣市層級之活動數據時，可依照產值計算各產業排放比例，以利後續鄉鎮市活動計算。切分數據參考資料包含：農委會農業統計(農委會, 2021)、漁業署漁業統計(漁業署, 2021)與雲林縣統計年報(雲林縣政府, 2021)。

表 4 針對雲林縣之農、林、畜及漁產值切分之數據比例

產業	全國產值(新台幣千元)	雲林縣產值(新台幣千元)	全國比例	縣內比例(不含漁業)	縣內比例(含漁業)
農產	263,610,267	39,585,872	15.0%	53.6%	49.9%
林產	165,559	0	0.0%	0.0%	0.0%
畜產	168,813,387	34,326,851	20.3%	46.4%	43.3%
漁產	71,320,663	5,464,807	7.7%		6.9%
合計	503,909,877	79,377,529	15.8%		

資料來源：農委會農業統計(農委會, 2021)。

表 5 雲林縣各鄉鎮市層級切分數據比例

地區範圍	占雲林縣比例 (%)		
	農耕土地面積	畜牧產值比例	漁戶人口數
雲林縣	100.00%	100.00%	100.00%
斗六市	5.01%	2.91%	0.61%
斗南鎮	4.00%	2.18%	0.40%
虎尾鎮	5.35%	5.10%	1.44%
西螺鎮	4.48%	3.89%	0.51%
土庫鎮	4.27%	5.83%	0.64%
北港鎮	3.97%	1.47%	4.50%
古坑鄉	11.37%	2.55%	0.06%
大埤鄉	3.94%	3.43%	0.03%
莿桐鄉	4.70%	1.38%	0.04%
林內鄉	2.58%	2.62%	0.03%
二崙鄉	6.00%	10.92%	0.37%
崙背鄉	4.84%	9.41%	0.82%
麥寮鄉	3.63%	17.19%	17.27%
東勢鄉	5.25%	5.41%	4.32%
褒忠鄉	3.38%	7.53%	0.66%
台西鄉	2.92%	2.11%	23.66%

地區範圍	占雲林縣比例 (%)		
	農耕土地面積	畜牧產值比例	漁戶人口數
元長鄉	6.46%	3.92%	0.61%
四湖鄉	6.61%	4.27%	15.77%
口湖鄉	4.69%	1.96%	27.34%
水林鄉	6.55%	5.94%	0.93%

註：畜牧頭數包含家畜與家禽數量，參考 109 年雲林縣家禽與家畜單隻產值分別為 796 元與 12,746 元，單一家畜產值約為家禽之 16 倍，以此當量計算畜牧頭數比例。

表 6 雲林縣鄉鎮層級非燃料燃燒活動數據

區域	稻米收穫面積 (公頃)		家畜頭數 (數量)				家禽數 (千隻)				
	一期	二期	豬	牛	羊	總計	雞	鴨	鵝	火雞	總計
斗六市	1,323.37	1,331.60	41,091	-	1,193	42,322	412	52	-	-	464
斗南鎮	1,851.57	1,852.82	16,341	596	406	17,372	469	103	6	-	578
虎尾鎮	1,522.19	962.35	64,047	-	647	64,695	865	95	5	-	965
西螺鎮	1,535.56	1,379.39	62,695	13	1,548	64,279	460	32	5	-	497
土庫鎮	1,304.50	325.08	112,494	186	3,170	115,850	412	11	12	-	435
北港鎮	875.19	189.10	6,005	2	562	6,569	434	11	6	21	471
古坑鄉	43.76	44.00	23,449	-	453	24,001	602	16	-	-	618
大埤鄉	2,784.29	2,463.82	50,610	-	447	51,071	524	4	-	-	528
莿桐鄉	2,060.83	1,964.19	11,886	-	384	12,355	184	159	-	-	343
林內鄉	611.70	578.20	38,949	211	523	39,771	363	30	1	-	394
二崙鄉	1,992.90	1,619.10	230,234	-	531	230,801	582	9	4	-	595
崙背鄉	1,840.35	494.41	113,442	12,046	606	126,192	1,638	34	-	2	1,674
麥寮鄉	1,021.96	21.70	354,993	-	1,260	356,253	582	443	24	-	1,049
東勢鄉	892.32	1.00	66,762	-	944	67,706	690	265	85	-	1,040
褒忠鄉	662.86	15.50	153,532	-	811	154,391	457	16	12	-	484
台西鄉	409.82	0.00	17,496	1,023	506	19,025	381	93	49	-	522
元長鄉	2,443.34	260.11	62,782	-	420	63,202	405	63	55	3	526
四湖鄉	1,116.91	7.00	65,490	378	288	66,193	447	50	119	2	617
口湖鄉	369.83	17.40	26,866	1,200	1,129	29,195	270	12	21	-	303
水林鄉	3,219.52	250.00	68,591	-	1,108	69,754	1,118	85	13	1	1,218
合計	27,882.77	13,776.77	2,305,628	6,729	10,569	2,322,926	12,251	1,758	416	28	14,453

資料來源：雲林縣 109 年統計年報。

放之排放則有鄉鎮市層級之活動數據，無須進行切分，彙整雲林縣產乳牛頭數、現有家畜數、現有家禽數量、稻米收穫面積如表 6。

2.2.3 排放係數

於燃料燃燒排放係數 (EF_i) 方面，用油量須先以計算各燃料之熱值，再以排放係數資料進行計算，用電排放係數則參考能源局公布「109 年電力排放係數」(能源局, 2022)，以每度電 0.502 公斤 CO_2e 計算。綜合能源平衡表之農業用油量、熱值與排放係數等數據，可計算全國農林牧與漁業之用油排放，每年分別約為 22.6 與 110.6 萬公噸二氧化碳當量；縣市用電排放量每年約為 21.3 萬公噸二氧化碳當量。

非燃料燃燒排放之排放則有鄉鎮市層級之活動數

據，排放係數與排放量係參考我國「國家溫室氣體清冊」(環保署, 2022)。畜禽腸胃發酵排放係指人類養的家禽與家畜，消化過程中腸胃發酵所產生的甲烷量。畜禽糞尿處理排放係指人類養的家禽與家畜，其經排泄作用所產生的糞尿產生之甲烷與氧化亞氮。水稻種植會因稻田之厭氧環境被微生物分解產生甲烷，排放係數參考 2021 年國家溫室氣體排放清冊農業部門之計算方法，雲林縣的甲烷排放係數在一期作及二期作分別為每期每公頃 60.1 與 175.0 公斤之甲烷排放。

2.2.4 排放熱點分析

綜整雲林縣各鄉市鎮農業活動排放資料盤點結果，將可比較各鄉市鎮溫室氣體排放點源，並可透過

地理資訊系統 (GIS) 呈現雲林縣各鄉鎮各類活動二氧化碳碳排放當量，以分析各類農業活動的鄉鎮市相對熱點，作為擬定減排策略之參考。

2.3 分析雲林縣農業剩餘資材產量

本研究彙整國內外針對農業剩餘資材產量之計算(或推估方法)，綜合各農業剩餘資材種類進行分析，計算雲林縣水稻、落花生、甘蔗、短期葉菜類、禽畜類等農業剩餘資材之產量；部分農業剩餘資材產量缺乏資料文獻，其推估方法透過額外訪談方式補充完成，詳如表 7 所示；此外，為了解農業剩餘資材處理機制，本研究亦使用問卷訪談雲林縣各區農漁會或農企業等；問卷內容包含農業剩餘資材類型與名稱、各項農業剩餘資材年產量、產生或存放地點、及其流向與用途等。

三、結果與討論

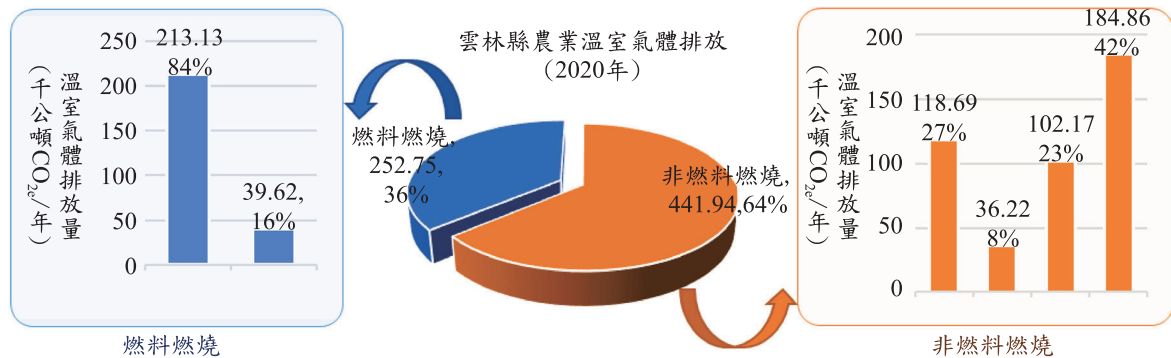
3.1 分析雲林縣農業溫室氣體排放

依據計算方法彙整活動數據、排放係數與全球暖化潛勢係數，計算各排放源之二氧化碳排放當量，並以雲林縣內鄉鎮層級繪製統計圖表，分析出縣內整體與各鄉鎮於各排放源之比例。雲林縣內於 2020 年整體農業溫室氣體排放狀況如圖 1，每年排放量約為 695 千公噸 CO_{2e}，其中，燃料燃燒與非燃料燃燒的比例約各占 36 % (每年排放量約為 253 千公噸 CO_{2e}) 與 64 % (每年排放量約為 442 千公噸 CO_{2e})。在各農業部門排放源細節資訊上，燃料燃燒排放以農業用電為主，排放量每年約為 213.13 千公噸 CO_{2e}，占 84% 之燃料燃燒；非燃料燃燒主要為農業土壤 (占 42 %)、水稻排放

表 7 雲林縣關鍵農產品之農業剩餘資材產量與估算方式

農產品	年分	種類	產量 (公噸)	計算方式
水稻	2020	稻穀	48,128	稻穀產量 2 成 ^{1,4}
		稻蔞	240,642	同水稻產量 ^{1,4}
落花生	2020	花生殼	13,160	每公畝落花生殼約有 0.009 公噸 ^{1,5}
		花生藤*	146,226	每公頃落花生藤 10 公噸 ^{1,5}
胡蘿蔔	2020	果菜殘渣	4745	批發市場每公斤拍賣量產生 0.056 公斤 ^{2,4}
	2020	包裝資材	119	批發市場每公斤拍賣量產生 0.014 公斤 ^{2,4}
葉菜類	2020	果菜殘渣	15,091	批發市場每公斤拍賣量產生 0.056 公斤 ^{2,4}
	2020	包裝資材	3,773	批發市場每公斤拍賣量產生 0.014 公斤 ^{2,4}
	2020	農膜	2,689	農會電訪推估 ³
溫網室作物	2018	農膜	5,248	每公頃 2,100 公斤 ⁴
青果	2020	包裝資材	77	批發市場每公斤拍賣量產生 0.014 公斤 ^{2,4}
柳橙	2019	果樹枝條	7,353	種植面積推估 ³
柑橘	2019	果樹枝條	4,407	種植面積推估 ³
柚子	2019	果樹枝條	2,005	種植面積推估 ³
番石榴	2019	果樹枝條	608	種植面積推估 ³
竹子	2019	廢竹材	14,115	收成竹筍之 23.26%推估 ⁶
豬	2020	禽畜糞	173,859	每日收集 0.3 公斤 ^{1,4}
	2020	死廢禽畜	8,491	(平均死重 (16.8 kg) × 年死亡 (1,395,030 頭) + 胎衣 (0.7 kg) × 年生 (9,579,182 頭)) × 雲林縣占全台豬隻 (28.2%) ^{1,4}
產乳牛	2020	禽畜糞	19,308	每日收集 7.8 公斤 ^{1,4}
	2020	死廢禽畜	194	(平均死重 (50 kg) × 年死亡 (4,772 頭) + 胎衣 (20 kg) × 年生 (42,705 頭)) × 雲林比例 (17.7%) ^{1,4}
雞	2020	禽畜糞	134,148	每日收集 0.03 公斤 ^{1,4}
	2020	死廢禽畜	1,814	(平均死重 0.42kg*年生 419,701,730 隻*死亡率 7%+蛋殼 0.0067kg*年生 419,701,730 隻)*雲林比例 11.97% ^{1,4}
牡蠣	2020	牡蠣殼	26,730	養殖產量 6 倍 ^{4,7}
	2019	養殖保麗龍浮具	5	放養棚數比例 ³

資料來源：¹雲林縣 109 年統計年報；²農糧署 (2021)，109 年台灣地區農產品批發市場年報；³環保署 (2020)，農漁業與醫療剩餘資材再利用及清理管理專案工作計畫；⁴農委會 (2020)，綠色國民所得帳農業固體剩餘資材；⁵楊紹榮 (2007)，農業剩餘資材處理與再利用；⁶林務局 (2020)，竹產業振興發展；⁷漁業署 (2021)，109 年漁業統計年報。



註：單位為每年千公噸 CO_{2e}

圖 1 雲林縣 2020 年農業溫室氣體整體 (中) 與各排放源之排放量與比例：(左) 燃料燃燒排放；(右) 非燃料燃燒排放

表 8 雲林縣鄉鎮市層級燃料燃燒排放量

範圍	電力使用排放 (公噸 CO _{2e})				用油使用排放 (公噸 CO _{2e})			
	農林業	牧業	漁業	合計	農林業	牧業	漁業	合計
斗六市	5,328.31	2,679.25	89.37	8,096.94	1,037.17	521.52	6.02	1,564.71
斗南鎮	4,250.49	2,008.49	58.26	6,317.24	827.37	390.96	3.92	1,222.25
虎尾鎮	5,688.35	4,695.98	210.83	10,595.16	1,107.25	914.08	14.20	2,035.53
西螺鎮	4,756.79	3,581.37	75.05	8,413.21	925.92	697.12	5.05	1,628.10
土庫鎮	4,533.75	5,374.06	93.32	10,001.13	882.51	1,046.07	6.28	1,934.86
北港鎮	4,224.33	1,352.64	660.15	6,237.12	822.28	263.29	44.46	1,130.03
古坑鄉	12,084.84	2,352.46	8.39	14,445.70	2,352.34	457.91	0.57	2,810.82
大埤鄉	4,190.85	3,158.18	4.94	7,353.96	815.76	614.75	0.33	1,430.84
莿桐鄉	4,995.14	1,268.38	5.43	6,268.95	972.32	246.89	0.37	1,219.57
林內鄉	2,744.38	2,418.13	4.44	5,166.96	534.20	470.70	0.30	1,005.20
二崙鄉	6,377.30	10,067.96	53.82	16,499.09	1,241.36	1,959.75	3.62	3,204.74
崙背鄉	5,139.81	8,670.18	120.97	13,930.96	1,000.48	1,687.67	8.15	2,696.30
麥寮鄉	3,862.16	15,845.35	2,534.46	22,241.97	751.78	3,084.34	170.68	4,006.80
東勢鄉	5,578.94	4,984.36	633.49	11,196.79	1,085.96	970.22	42.66	2,098.84
褒忠鄉	3,589.30	6,936.61	97.27	10,623.19	698.67	1,350.23	6.55	2,055.45
台西鄉	3,098.46	1,941.20	3,471.61	8,511.27	603.12	377.86	233.80	1,214.78
元長鄉	6,871.08	3,610.03	88.88	10,569.99	1,337.47	702.70	5.99	2,046.16
四湖鄉	7,027.09	3,936.21	2,313.75	13,277.05	1,367.84	766.19	155.82	2,289.85
口湖鄉	4,983.60	1,807.77	4,012.27	10,803.64	970.07	351.89	270.21	1,592.17
水林鄉	6,962.95	5,478.85	136.28	12,578.08	1,355.36	1,066.47	9.18	2,431.01
全縣	106,287.93	92,167.48	14,672.99	213,128.40	20,689.21	17,940.63	988.16	39,618.00

甲烷 (占 23 %)、禽畜腸胃發酵排放甲烷 (占 27 %) 及禽畜糞尿管理排放甲烷與氧化亞氮 (占 8 %)。

關於雲林縣鄉鎮市層級之燃料燃燒排放量數據，彙整詳如表 8 所示。以鄉鎮市為區分，農業因電力使用產生之直接排放以麥寮鄉最高，每年約 22.2 千公噸 CO_{2e}，占比約為 10.4 %；農業因用油產生之直接排放亦以麥寮鄉為最高，每年約 4.0 千公噸 CO_{2e}，占比約為 10.1 %。

非燃料燃燒各項分類排放量計算結果如表 9，其中農業土壤排放量係參考 2021 年國家溫室氣體排放

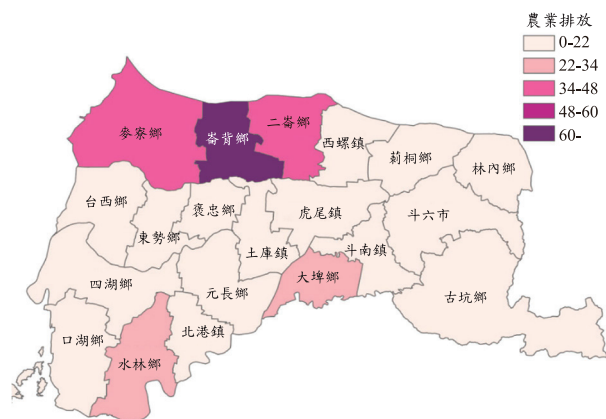
清冊推估至縣市與鄉鎮市層級，切分方法如燃料燃燒計算方式。

依照各鄉鎮排放比例進行分析 (詳如圖 2)，主要農業溫室氣體排放 (含燃料燃燒與非燃料燃燒) 熱點鄉鎮包括崙背鄉、麥寮鄉、二崙鄉、大埤鄉、水林鄉。崙背鄉為農業溫室氣體排放最高之鄉鎮，主要源自於全縣最高之禽畜腸胃發酵排放；麥寮鄉以用電與用油排放為全縣最高；二崙鄉同時具備豐富之農糧與畜牧產業，在多項溫室氣體排放源中皆名列前茅；大埤鄉與水林鄉則以水稻排放與農業土壤為主要排放源。

表 9 雲林縣鄉鎮市層級非燃料燃燒排放量數據

區域	畜禽腸胃發酵排放 甲烷(3.A)	畜禽糞尿管理排放 甲烷(3.B)	畜禽糞尿管理排放 氧化亞氮(3.B)	水稻排放 甲烷(3.C)	農業土壤 (3.D)
斗六市	1.70	0.85	0.07	7.81	9.27
斗南鎮	2.84	0.45	0.05	10.89	7.39
虎尾鎮	2.51	1.35	0.17	6.50	9.89
西螺鎮	2.62	1.28	0.18	8.34	8.27
土庫鎮	5.29	2.25	0.07	3.38	7.89
北港鎮	0.33	0.18	0.15	2.14	7.35
古坑鄉	0.94	0.53	0.04	0.26	21.02
大埤鄉	1.97	1.04	0.13	14.96	7.29
莿桐鄉	0.51	0.26	0.07	11.69	8.69
林內鄉	2.29	0.82	0.02	3.45	4.77
二崙鄉	8.73	4.51	0.31	10.08	11.09
崙背鄉	47.99	3.95	0.15	4.93	8.94
麥寮鄉	13.52	6.90	0.36	1.63	6.72
東勢鄉	2.64	1.37	0.04	1.35	9.70
褒忠鄉	5.86	3.01	0.11	1.06	6.24
台西鄉	4.44	0.52	0.04	0.62	5.39
元長鄉	2.41	1.26	0.04	4.81	11.95
四湖鄉	3.88	1.37	0.10	1.71	12.22
口湖鄉	5.50	0.71	0.02	0.63	8.67
水林鄉	2.72	1.46	0.05	5.93	12.11
合計	118.69	34.05	2.16	102.17	184.86

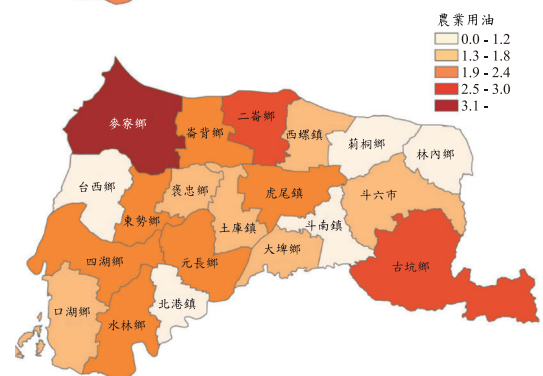
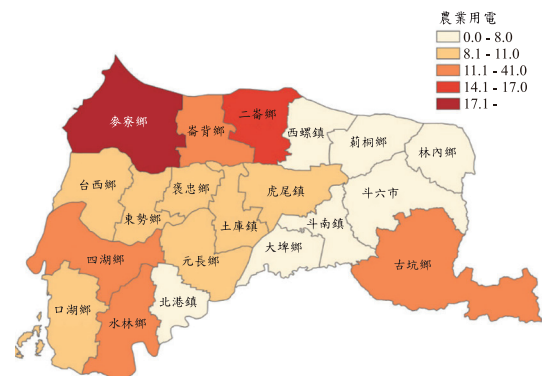
註：單位為每年千公噸 CO_{2e}



註：單位為每年千公噸 CO_{2e}

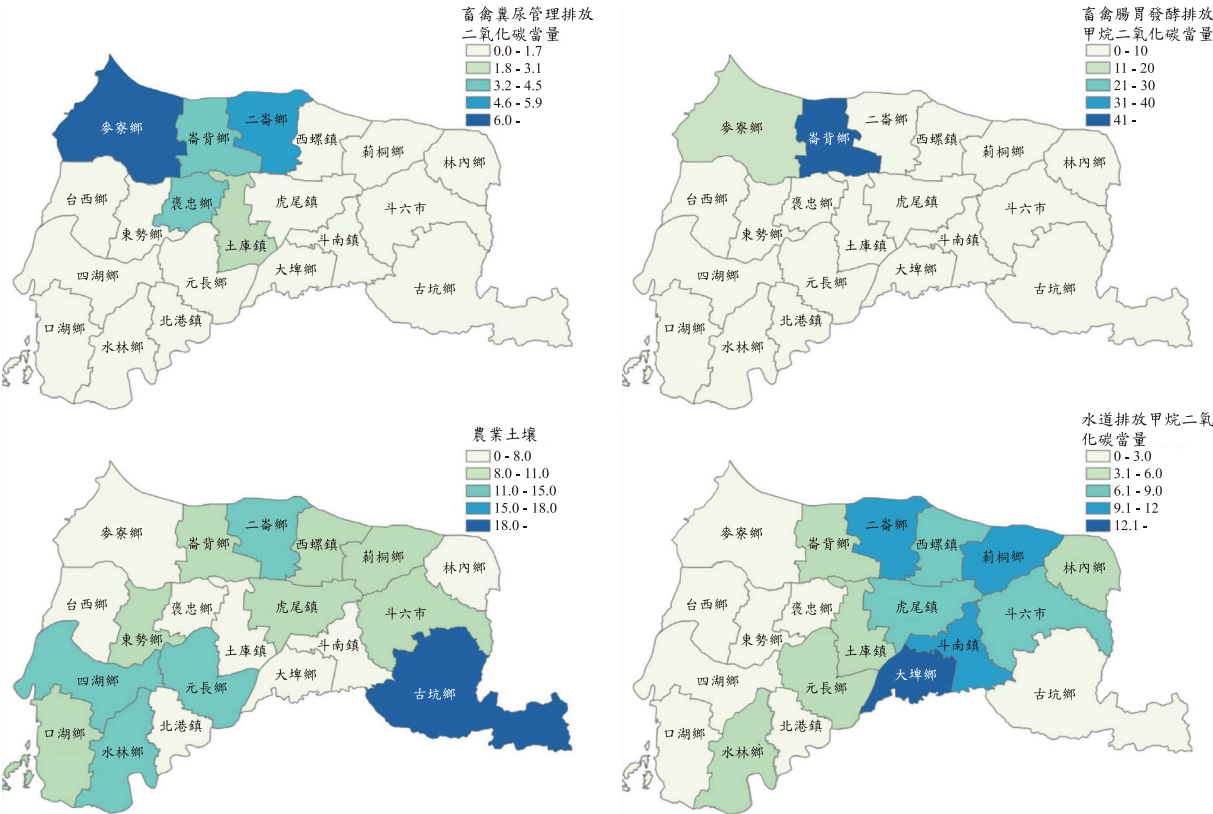
圖 2 雲林縣各鄉鎮之農業溫室氣體排放量分布 (含燃料燃燒與非燃料燃燒)

針對燃料燃燒之個別排放源，繪製各鄉鎮比例表如圖 3。以該各排放源最高之前 50 % 計算主要排放熱點鄉鎮，農業用電排放主要源自於麥寮鄉、二崙鄉、古坑鄉、四湖鄉、崙背鄉、水林鄉、口湖鄉、東勢鄉，農業用油排放主要源自於麥寮鄉、二崙鄉、古坑鄉、崙背鄉、水林鄉、四湖鄉、東勢鄉、褒忠鄉。



註：單位為千公噸 CO_{2e}

圖 3 雲林縣各鄉鎮農業燃料燃燒產生溫室氣體情況：(上) 農業用電、(下) 農業用油排放



54

註：單位為千公噸 CO₂e

圖 4 雲林縣各鄉鎮農業非燃料燃燒溫室氣體排放：畜禽腸胃發酵排放、畜禽糞尿管理、水稻排放、農業土壤排放

針對非燃料燃燒之個別排放源如圖 4，其農業排放高於全國比例的排放源為：農業用電、農業土壤與水稻排放。依照主要農產結構與空間區分為兩個部分：畜牧產地的崙背鄉、麥寮鄉，農糧產地的二崙鄉、大埤鄉、虎尾鎮、土庫鎮與水林鄉。畜牧產地的崙背鄉、麥寮鄉主要排放源源自於飼養之禽畜動物數量多，產生的農業用電、禽畜腸胃發酵、禽畜糞尿處理排放量多；農糧產地的二崙鄉、大埤鄉、虎尾鎮與土庫鎮，二崙鄉同時有豐富的農耕與畜牧活動，因此在農業用電、禽畜腸胃發酵、農業土壤、水稻排放等排放源較多，大埤鄉、虎尾鎮、土庫鎮與水林鄉為稻米與雜糧產地，農業土壤、水稻排放等排放源較多。

3.2 分析雲林縣農業剩餘資材產量

本節綜合雲林縣各農業剩餘資材種類進行分析，詳如表 10 所示。分析結果顯示：農業主要之剩餘資材為稻蒿（年產量約 24.1 萬公噸）與花生藤（年產量約 14.6 萬公噸），林業主要為廢竹材（年產量約 1.4 萬公噸），畜牧業為禽畜糞（年產量約 32.7 萬公噸），漁業

表 10 雲林縣農業剩餘資材年產量統計

類別	農業剩餘資材種類	年產量 (公噸/年)	比例
農業	稻蒿	240,642	27.7%
	花生藤	146,226	16.8%
	稻殼	48,128	5.5%
	果菜殘渣	15,566	1.8%
	果樹枝條	14,373	1.7%
	花生殼*	13,160	1.5%
	農膜	7,937	0.9%
	包裝資材	3,969	0.5%
	合計(農業)	490,001	56.4%
林業	廢竹材	14,115	1.6%
	合計(林業)	14,115	1.6%
畜牧業	禽畜糞	327,316	37.7%
	死廢禽畜	10,498	1.2%
	合計(畜牧業)	337,814	38.9%
漁業	牡蠣殼	26,730	3.1%
	養殖保麗龍浮具	5	0.001%
	合計(漁業)	26,735	3.1%
總計		868,665	100.0%

表 11 雲林縣農業剩餘資材處理與再利用流向

產業	剩餘資材	熱點鄉鎮	回收方式	流向	出售價格(每公噸)
農業	稻蒿	大埤、荊桐	集中回收(粗糠)	農產行	600-800 元
			自行回收(就地掩埋、覆蓋作物)	農地	無償贈送
			廢棄清運	清運業者	-
	花生藤	元長、土庫	自行回收(就地掩埋)	農地	-
	稻穀	大埤、荊桐	集中回收	農民	無償贈送
	果菜殘渣	二崙、西螺	自行回收(就地掩埋)	農地	-
			廢棄清運	清運業者	-
	果樹枝條	古坑	自行回收(就地掩埋、堆肥)	農地	-
	花生殼	元長、土庫	自行或集中回收	花農、果農	2,000-5,000 元
林業	農膜	二崙、西螺	資源回收	-	-
	包裝資材	二崙、西螺	資源回收	-	-
	廢竹材	古坑	自行回收(粉碎處理、就地掩埋)	農地	-
牧業	禽畜糞	崙背、水林 二崙、麥寮	自行回收(豬糞、沼液澆灌、堆肥)	自行使用	-
			一般農民	70 元 / 無償贈送	
	死廢禽畜		集中回收(堆肥)	堆肥場、農友	6,000-6,400 元(有機肥)
漁業	牡蠣 文蛤殼	麥寮、台西 四湖、口湖	自行回收(化製)	化製廠	-
			自行回收	河床抑制揚塵	-
	養殖浮具		集中回收(磨粉)	灰粉加工	無償贈送
			集中回收	加工廠	無償贈送

為牡蠣殼(年產量約 2.7 萬公噸)，總計農業剩餘資材年產量約 86.9 萬公噸。相較於我國農委會每年盤點國內主要之農業剩餘資材項目，雲林縣具有地方重要特色產物之剩餘資材，包括：花生藤與文蛤殼等。

另一方面，本研究亦彙整雲林縣農業剩餘資材之處理與再利用流向，詳如表 11 所示。透過盤點相關農業剩餘資材年產量，可分析雲林縣農業剩餘資材熱點區域，並找出循環利用價值高(例如生質能、生物炭等)等農業剩餘資材現行處理機制，以便後續擬訂農業剩餘資材循環再利用相關策略。

3.3 研擬農業減排與循環策略邁向淨零

雲林縣政府於 2022 年提出「2030 新農業 5A++」政策白皮書，提出雲林縣整體減碳目標達 100 萬公噸之減碳量，其中，農業部門邁向淨零之策略應配合行政院農業委員會淨零主軸，朝減排、增匯及綠循環等方向落實，設定科學基礎減量目標(Science-based Target，簡稱 SBT)，擘劃雲林縣農業碳中和路徑，最佳化糧食-能源-水資源供給之安全性與永續性。根據本研究分析結果，雲林縣於農業溫室氣體「減排」策略上，應包括減少畜禽腸胃發酵甲烷排放、強化畜禽糞尿管理與處理、減少水稻甲烷排放及減少農業土壤氧化亞氮排放。短期行動方案之關鍵作為包含：調整畜禽營養與育種策略(例如調整牧草飼料具備減緩潛

力 10 % ~ 25 % (Ku-Vera *et al.*, 2020)、畜牧選擇性育種具備減緩潛力 24 % (De Haas, Veerkamp, de Jong, & Aldridge, 2021) 等)、精進畜牧糞尿處理與沼氣再利用技術與設施、合理化農業資材(肥料、農藥、灌溉用水等)使用、持續推廣低碳栽培農耕、有機與友善環境耕作等；中長期行動方案作為則應朝向增強土壤碳匯功能(即為「增匯」策略)，落實永續土壤管理(Sustainable Soil Management)措施，導入生態系服務概念，維持糧食生產力、土壤增匯、水資源調節、營養鹽循環及生物多樣性等農地多功能服務。

於農業剩餘資材「循環」策略上，應可強調雲林縣在地特有之農業剩餘資源，例如花生藤與文蛤殼等，並自農業剩餘資源產生熱點中評估最佳集中處置點位，建置區域生質能源中心，循環策略則依物料濕度狀況分別處置：乾基剩餘資源上，可推升果樹枝條與廢竹材等乾基回收，集中氣化處理，導入生物炭與燃料棒再利用技術示範，同時生產能源與生物炭，產生熱區為大埤鄉(稻蒿)、元長鄉(花生藤)、古坑鄉(果樹枝條、廢竹材)；溼基剩餘資源則須減少堆置時間，集中厭氧消化(產生沼氣與沼液)，並持續精進農業濕基剩餘資源產生生質沼氣作法，包括提升產氣效率、多元化沼渣/沼液再利用途徑(導入沼液純化程序)等，產生熱區為麥寮鄉及崙背鄉(禽畜糞)等。此外，部分農業剩餘資源具價值化學品(生物精煉)，例如台西鄉與口湖鄉為文蛤與牡蠣殼產生熱點，可強化

養殖殼粉資源化模式，鼓勵發展文蛤殼與牡蠣殼等殼粉資源化技術，加強循環應用，包括抗菌產品、飼料/肥料添加、農田與魚塭改良劑等應用推廣。

四、結論

面對氣候變遷的威脅，地方政府響應淨零碳排放目標提出永續行動策略。農業部門肩負經濟發展、生態保護與糧食安全等任務；然而，地方政府仍缺乏農業碳排放量及剩餘資材產生量細部空間資訊，影響減碳行動規劃優先實施地點與目標對象。本研究以雲林縣之農業為研究範圍，分析鄉鎮層級分析農業溫室氣體排放與農業剩餘資材資訊，建立鄉鎮層級的資料盤點方法，自全國與縣市層級之公開資訊切分至鄉鎮層級，研擬農業減排與循環之行動方案，以落實農業碳中和目標，邁向農業負碳。分析結果顯示，雲林縣於2020年之整體農業溫室氣體排放量約為694.7千公噸CO_{2e}，其中，燃料燃燒與非燃料燃燒比例分別約占36%與64%，主要重要排放鄉鎮為崙背鄉、麥寮鄉、二崙鄉、大埤鄉及水林鄉，並依各鄉鎮之排放源進行分析，釐清各主要鄉鎮之排放特性。雲林縣於2020年農業剩餘資材年產量約86.9萬公噸，農業主要剩餘資材為稻蒿(年產量約24.1萬噸)與花生藤(年產量約14.6萬噸)，林業主要剩餘資材為廢竹材(年產量約1.4萬噸)，畜牧業剩餘資材為禽畜糞(年產量約32.7萬噸)，漁業剩餘資材為牡蠣殼(年產量約2.7萬噸)。綜合本研究分析結果，據以研擬相關策略，例如：農業剩餘資源產生熱點可評估建置區域生質能源中心，依其性質(乾基、濕基與化學原料等)分別進行不同再利用途徑。本研究以雲林縣為例，旨在建立鄉鎮層級之溫室氣體排放與農業剩餘資材盤查方法論，分析產生熱點，確立優先實施對象與潛在實施技術，以提供地方政府實施農業減排與剩餘資源循環之參考依據，以協助落實地方政府減碳目標。

致謝

由衷感謝雲林縣政府「因應淨零之雲林減碳策略工作計畫」經費支持，使本研究得以順利進行。

參考文獻

1. De Haas, Y., Veerkamp, R., de Jong, G., & Aldridge, M. (2021). Selective Breeding as a Mitigation Tool for Methane Emissions from Dairy Cattle. *Animal*, 15, 100294.
2. Ku-Vera, J. C., Castelán-Ortega, O., Galindo-Maldonado, F., Arango, J., Chirinda, N., Jiménez-Ocampo, R., . . . Molina-Botero, I. C. (2020). Strategies for Enteric Methane Mitigation in Cattle Fed Tropical Forages. *Animal*, 14(S3), s453-s463.
3. 台電. (2021). 縣市用電資訊. Retrieved from <https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=5554>
4. 能源局, (2022), 「能源統計年報」, 臺北。
5. 雲林縣政府, (2021), 「雲林縣統計年報」, 雲林。
6. 雲林縣政府, (2022), 「農業政策白皮書」, 雲林。
7. 農委會, (2021), 「農業統計年報(109年)」, 臺北。
8. 農委會, (2022), 「綠色國民所得帳農業固體廢棄物歷年表」, 臺北。
9. 漁業署, (2021), 「漁業統計年報(民國109年)」, 臺北。
10. 環保署, (2011), 「縣市層級溫室氣體盤查計算指引」, 臺北。
11. 環保署, (2022), 「中華民國國家溫室氣體清冊報告(2022年)」, 臺北。

收稿日期：民國112年06月06日

修改日期：民國112年07月03日

接受日期：民國112年07月24日