

行政院原子能委員會核能研究所
委託研究計畫研究報告

國內燃氣發電應用情境與商業模式評估研究
**Research on Gas Power Generation Application Scenario and
Business Model**

計畫編號：111B014

受委託機關(構)：中華經濟研究院

計畫主持人：陳中舜

聯絡電話：02-2735-6006 # 608

E-mail address：jschen@cier.edu.tw

核研所聯絡人員：邱秀玫

報告日期：111年11月30日

目 錄

目 錄.....	1
中文摘要.....	2
Abstract	3
壹、計畫緣起與目的.....	4
一、關鍵技術研究.....	7
二、產品高值化與新商業模式.....	12
貳、研究方法與過程.....	25
一、三種可應用於生質燃氣之料源評估.....	25
二、以地理資訊系統評估料源與應用情境.....	28
三、國內生質燃氣營運商業模式規劃.....	60
參、主要發現與結論.....	63
肆、參考文獻.....	67

中文摘要

生質燃氣工程是指採用厭氧消化技術處理各類有機廢棄物（水）並制取沼氣的系統工程，是能源化、減量化、無害化處理農村有機廢棄物、生活垃圾、畜禽糞汙的主要途徑。

本計畫在提出 3 種可應用於低碳燃氣生產之農、林、漁或牧等領域的廢棄物選項建議及論述。並透過地理資訊系統與內外部成本效益分析，找出適合台灣營運之兩種以上創新商業模式，以利後續的落實與推廣。

關鍵詞：生質燃氣、地理資訊系統、成本效益分析、創新商業模式

Abstract

Biomass gas project refers to a systematic project that uses anaerobic digestion technology to process various organic wastes and produce biogas. main source of pollution.

This project proposes and discusses three waste options that can be applied to low-carbon gas production in the fields of agriculture, forestry, fishing or animal husbandry. And through geographic information system and internal and external cost-benefit analysis, find out two or more innovative business models suitable for Taiwan's operation, to facilitate the subsequent implementation and promotion.

Keywords : Biomass gas 、 Geographic Information Systems, Cost Benefit Analysis, Innovative Business Models

壹、計畫緣起與目的

生質燃氣工程是指採用厭氧消化技術處理各類有機廢棄物（水）並制取生質燃氣的系統工程，是能源化、減量化、無害化處理農村有機廢棄物、生活垃圾、畜禽糞汙的主要途徑。生質燃氣是一種優質、廉價、衛生的氣體燃料，是可再生的生物質能源。生質燃氣的主要成分是 CH_4 （含量 40%~70%）和 CO_2 （含量 15%~60%），生質燃氣的高位熱值一般為 22~25MJ/m³。經提純淨化後可提高 CH_4 的相對含量，熱值可達 39.8MJ/m³。由於生質燃氣是處理各類有機廢棄物的產物，使用 CH_4 作為能源不會增加 CO_2 排放。因此，在實現「減碳」目標進程中，各國對於生質燃氣能源皆多有關注。

尤其是德國、瑞典、丹麥等國家是當前世界上生質燃氣工程技術最為成熟和政策配套比較完善的地區。據統計，截至 2016 年，德國已建成生質燃氣工程 9004 處，總裝機容量達到 4018MW。在德國可再生能源中，生質燃氣和生物甲烷在可再生能源中的占比高達 16.84%。德國有 80 萬 hm^2 的土地用於種植生產生質燃氣的能源作物，占總耕地面積的 6.8%。此外，德國計畫到 2020 年建成生質燃氣工程 1.2 萬個，發電裝機總量達 4800MW，生質燃氣發電占全國發電總量的 7.5%，提純生質燃氣占到天然氣總用量的 20%；到 2050 年，農民收入的 1/4 來自於生質燃氣工程。德國約有 97% 的生質燃氣工程為汽電共生工程，根據德國生質燃氣協會預測，到 2020 年，生質燃氣發電總裝機容量將達到 9500MW，且重點為裝機容量 150kW 以下的小型工程；從 2011 年起，德國的生質燃氣利用方式開始向製備生質燃氣轉變，主要用於製備管道天然氣和車用壓縮天然氣。

瑞典是世界上率先開發車用生質燃氣的國家，生質燃氣廣泛地

用於交通燃氣。根據國際能源署 2013 年 4 月的統計資料，瑞典有 195 個生質燃氣加氣站，車用燃料的使用占總生質燃氣利用的 60%，生質燃氣燃料的生產和使用在瑞典一直穩步增長。瑞典提出的目標是：到 2020 年生質燃氣代替 50%的天然氣，到 2050 年生質燃氣完全替代天然氣。丹麥政府提出，到 2020 年 10%的天然氣來自於生物質燃氣，到 2050 年天然氣的用量將會是目前的 50%，而且全部為生物質燃氣等可再生燃氣。

美國作為全球最大的能源消費國之一，生質燃氣工程規模居歐美前列，但總體發展速度較為緩慢。根據美國環境保護署（USEPA）2010 年的資料，美國約有 7 萬個乳牛養殖場，10 萬個養豬場，其中建有生質燃氣工程的養殖場約有 140 個，每個養殖場的平均養殖量為 1.7 萬頭（乳牛）。美國生質燃氣工程的主要原料是城市生活垃圾和廢水，截至 2010 年，美國有 420 多個營運的垃圾填埋氣體回收廠，3500 多個配有厭氧消化裝置處理污泥的城市廢水處理廠。美國在 20 世紀 70 年代末遭遇石油危機後，大力發展再生能源，1970 年聯邦政府頒佈的《清潔空氣法案》，是美國推廣再生能源的第 1 個法案，但生質燃氣工程總體上發展較為緩慢。近年來，隨著全球氣候變暖和能源危機，為處理規模化養殖場的畜禽糞便，減少溫室氣體排放，生質燃氣工程技術在美國日益受到重視，聯邦政府和各州相繼制定相關財政政策支援生質燃氣工程的發展，例如，2020 年《農場法案》中的可再生能源和能源效率 9006 條款規定支持生質燃氣專案，從 2003 年以來，美國農業部已經為厭氧消化系統總計撥款 3100 萬美元。明尼蘇達州農業廳的《生產甲烷消化池貸款專案》為建生質燃氣發電工程的農場主提供無息貸款。

日本國土面積小、環境壓力大，生質燃氣工程占地面積大是其發展緩慢的主要原因之一。日本的厭氧消化技術始於 1932 年，最初用於處理污水處理廠的污泥。到 2010 年，日本約有 300 多個生質燃氣工程投入營運，主要採用膨脹顆粒污泥床（EGSB）和上流式厭氧污泥床（UASB）技術，用於處理啤酒廠、飲料廠、酒廠、食品廠和化工廠等廢水；有 70 多個處理畜禽糞便的生質燃氣工程投入營運，有 50 個用於處理食品廢棄物和城市生活垃圾的生質燃氣工程。日本是世界上新能源產業起步最早的國家之一，石油危機與能源緊張是推動其新能源發展的主要動力。近年來，日本政府相繼提出了一系列政策和國家戰略支持生質產業的發展，2020 年提出《日本生質綜合戰略》，首次將生質利用放入國家戰略中，規定從 2004 年開始建設生質鎮，2005 年提出《京都議定書成就計畫》，2009 年提出《促進生質利用的基本方案》，2012 年提出《生質產業化戰略》。

歐美國家生質燃氣產業已經形成多種成熟的商業模式，主要包括以德國、英國、丹麥和美國為主的汽電共生模式（CHP）、瑞典和瑞士等國的車用燃氣模式以及管道天然氣模式等。就發展農村經濟角度，一般可分為以下四種模式：

1. 種植結合畜沼果（菜、茶）模式 以生質燃氣工程為核心，將畜禽養殖和果、菜、茶等高效經濟作物種植相結合，畜禽養殖糞汗等原料經過厭氧發酵生產生質燃氣和沼肥，沼肥為果園、菜園和茶園等提供有機肥料。
2. 生質燃氣集中供氣模式 該模式以秸稈或畜禽糞便等農村生產和生活廢棄物為原料，建設生質燃氣工程生產生質燃氣，以整村為單位，通過管道集中供氣，也可經過提純壓縮後製

成高純度燃氣，用高壓槽車分別送至生質燃氣站，再通過管網輸送至用戶家中。

3. 氣熱電肥聯產模式 生物質原料經生質燃氣工程厭氧發酵後產生生質燃氣、沼液和沼渣，生質燃氣可用作發電，發電產生的餘熱通過熱水鍋爐加以利用，沼液、沼渣可作為肥料用於農業生產。

生質燃氣模式，生物質原料經過生質燃氣工程生產生質燃氣，生質燃氣經淨化提純後可直接併入城鎮天然氣網路或作為車用燃氣。

一、關鍵技術研究

生質燃氣工程的核心技術是厭氧發酵技術，此外，隨著生質燃氣的發展，生質燃氣提純技術也日益受到重視，並不斷取得進步和發展。根據發酵原料的不同分為畜禽糞便、工業有機廢棄物、秸稈和多種混合原料，我國目前生質燃氣工程主要以處理畜禽養殖場糞汗為主。

禽畜糞便量按下式計算：

$$P = 10QsTW \quad (1)$$

式中：P 為某禽畜飼養週期內總的糞尿量，Q 為某禽畜的飼養量（萬頭）；s 為某禽畜的產排汗係數，kg/[頭·d]；T 為某禽畜的飼養週期，d；W 為糞尿量的收集效率，一般取 100%。

不同畜禽糞便的產氣率是不同的，豬糞產氣率為 55~65 m³/t，牛糞產氣率為 40~50 m³/t，羊糞產氣率為 62 m³/t，雞糞產氣率為 70~90 m³/t。

根據厭氧消化技術的不同分為完全混合式厭氧反應器（CSTR）、升流式固體床（USR）、上流式厭氧污泥床（UASB）、塞流式厭氧反

應器 (HPFC)、厭氧序批式反應器 (ASBR)、厭氧接觸反應器 (AC)、厭氧擋板反應器 (ABR)、厭氧複合反應器 (UBF)、內迴圈厭氧反應器 (IC)、膨脹顆粒污泥床反應器 (EGSB) 等。其中，應用最廣泛的為 CSTR 和 USR 技術。此外，多原料混合發酵基本採用 CSTR 技術。不同厭氧發酵技術對物料的要求、優缺點對比情況見表 1。

表 1 不同厭氧消化技術對比

發酵技術	適用物料	優點	缺點
CSTR	適用於高濃度及含有大量懸浮固體原料的處理	物料混合均勻；溫度分布均勻；技術穩定	消化槽體積較大；能量消耗較高；底物排出系統時未完全消化，易流失固體和微生物
HPFC	適用於高濃度廢物的處理，尤其是牛糞	結構簡單，能耗低；運轉方便，故障少，穩定性高	固體物易沉澱在反應器底部；需要固體和微生物的回流作為接種物；消化槽內溫度不一致，效率較低
UASB、EGSB、IC、ABR	適用於低濃度的養殖污水處理	消化槽結構簡單，無攪拌裝置及填料；負荷率高；技術穩定；出水懸浮物固體濃度低	營運技術要求較高，在高水力負荷或高濃度負荷時易流失固體和微生物
USR	適用於高濃度原料，可處理乙醇廢液、畜禽糞便等	結構簡單，適用於高懸浮物固體原料	進料物懸浮固體過高易出現布水管堵塞等問題

按照物料在反應器中的形態進行分類，大致可分為濕式和乾式

厭氧發酵技術。濕式厭氧發酵是指發酵物料在有流動水狀態下進行的厭氧消化過程，以完全混合式厭氧消化技術（CSTR）、上流式厭氧污泥床（UASB）等為代表。乾式厭氧發酵是指沒有或幾乎沒有流動水狀態下進行的厭氧消化過程，以序批式投料為主的覆膜槽乾式（MCT）、車庫（集裝箱）式和紅泥塑膠厭氧消化技術等為代表。

歐洲生質燃氣工程主要使用工業廢水以及市政污泥、餐廚垃圾、畜禽糞便、能源植物等有機廢物作為原料。厭氧發酵技術中濕式發酵的主流技術包括以上流式厭氧污泥床（UASB）為代表的高效厭氧反應器和全混式厭氧反應器（CSTR）。UASB 主要利用工業廢水進行生質燃氣生產，CSTR 則利用除廢水外的其他有機廢物。當前，德國的大型厭氧消化裝置多為立式 CSTR 發酵罐，罐體多為鋼結構，以利浦罐居多。德國的 MT-Energie、Boigas Nord AG、Envitec Biogas、BAT international 等企業已具有營運 CSTR 生質燃氣工廠的成熟經驗，並已將相關業務拓展至國際市場。針對市政垃圾、秸稈等高含固率物料，乾式發酵已成為新的生質燃氣生產發展方向，目前歐洲已有多家企業研發出成熟的生產技術，能夠穩定營運的技術有 Kompostogas、Valoiga、Dranco 等。

若規模化生質燃氣工程使用的原料主要為畜禽糞便和秸稈時。厭氧發酵技術中濕法發酵以中溫條件下的 CSTR 技術為主。CSTR 是在常規消化槽內安裝了攪拌裝置，使發酵原料和微生物處於完全混合狀態，與常規反應器相比，活性區遍佈整個反應器，效率較高。乾式發酵中以車庫式發酵居多，車庫式發酵為間歇式乾式發酵技術，該技術採用車庫式厭氧發酵倉，發酵倉為模組化結構，地面為混凝土結構，沒有攪拌器和管道，底部採用管道暖氣供熱。該技術的優點是：

對物料要求較低，簡化了物料預處理過程，裝置結構簡單，系統可靠性高，能耗低。

生質燃氣經淨化提純後可達到天然氣的標準，生質燃氣可直接併入現有的天然氣管網或經壓縮後用於車用燃氣。目前，生質燃氣提純技術主要有水洗法、物理或化學吸收法、變壓吸附法（PSA）和膜分離法等，表 2 為幾種常用的生質燃氣提純技術性能的對比分析。在這些技術中，加壓水洗法和變壓吸附法由於具有技術成熟、設備穩定、營運成本低等優點，是國內外應用最廣泛的技術；膜分離法目前被廣泛用於工業上的氣體分離，具有操作簡單、低污染、低能耗、易放大等優點，隨著技術水準的不斷提高和成本的進一步下降，在生質燃氣提純領域具有很大的應用前景。

表 2 不同生質燃氣提純技術對比

沼氣提純技術	生質燃氣中甲烷體積分數 (%)	甲烷回收率 (%)	典型的輸氣壓力 (bar)	消耗電能 (kW·h/m ³)	加熱需求和溫度平	脫硫需求	消耗品需求	負荷變動範圍 (%)	可參考工程數
水洗法	95.0~99.0	98.00	4~8	0.46	-	取決於技術	防汗劑、乾燥劑	50~100	多
有機溶劑物理吸收法	95.0~99.0	96.00	4~8	0.49~0.60	中等，70~80℃	需要	有機溶劑（無毒）	50~100	少
胺吸收法	>99.0	99.96	0	0.27	高，120~160℃	需要	胺溶劑（有毒、有腐蝕）	85~115	中等
變壓吸附法	95.0~99.0	98.00	4~7	0.46	-	需要	活性碳（無毒）	50~105	多
膜分離法	95.0~99.0	80.00~99.8	4~7	0.25~0.43	-	需要	-	50~100	少

歐盟國家生質燃氣產業的迅速發展離不開法律和政策的大力支持，主要分為終端產品補貼和建設補貼 2 種。終端產品補貼包括上網電價補貼、生質燃氣補貼等。

上網電價補貼：德國、瑞典、英國、法國等歐洲國家都實行「固定電價」，德國是歐盟中通過上網電價優惠實行財政補貼生質燃氣力度最大的國家。其餘各國上網電價補貼大同小異，基本都是根據發電

裝機容量從小到大分類遞減上網收購電價。

生質燃氣補貼：生質燃氣提純後一方面可作為車用燃氣，另一方面可併入燃氣管網。歐盟國家使用生質燃氣免徵能源消費稅、H₂S 排放稅和 CO₂ 排放稅等。瑞典是利用生質燃氣提純作車用燃氣最普遍的國家，車用燃氣發展的政策主要包括車輛稅免徵政策、超級環保汽車補貼政策、車輛受益稅減免政策等。在生質燃氣併入燃氣網路方面，荷蘭成功利用生質燃氣淨化純化後生質燃氣併入城市天然氣管道，作為天然氣替代能源，荷蘭自 2011 年起實行可再生能源激勵計畫 (SDE+)，該計畫既支持生質燃氣發電，也支持生質燃氣提純生產生物甲烷，生產決定採用哪種末端產品，2017 年該計畫預算達到 60 億歐元。歐盟國家高度重視生質燃氣工程基礎設施的建設，2012 年開始執行的義大利法案規定對於裝機小於 1MW 的農場生質燃氣工程，最高給予總投資 40% 的資助。瑞典在 2013-2017 年對生質燃氣新技術的市場行銷資助額度是投資總額的 40%。丹麥為鼓勵生質燃氣發電工程建設，根據 2012 年能源協議，生質燃氣發電工程建設補助由原來的 20% 提高至 39%。

二、產品高值化與新商業模式

(一) 沼氣（生質燃氣）高值化

生質燃氣高值化利用技術結合國際生質燃氣發展，現對常見生質燃氣高值利用的產品分析如下。

車用生質燃氣。生質燃氣經淨化提純後，完全滿足國家對車用燃氣的要求——《車用壓縮天然氣》(GB18047—2017)，可以用於汽車燃用，在實際工程案例中甚至優於化石天然氣的性能。我國天然氣長期依賴進口，價格也相對較高。在天然氣資源相對缺乏的地區，利用

有機質資源生產生質燃氣，再將生質燃氣淨化提純製成車用燃氣，可替代化石燃氣，降低對化石燃氣的依賴度，實現生質燃氣的高值化利用。

管道生質燃氣。在現實中，一些大型生質燃氣工程生產的生質燃氣不僅量大且穩定，可將生質燃氣淨化提純製成生質燃氣，燃氣公司可將其接入系統中，以補充自身氣源。在城鎮和農村密集的地區，建設生質燃氣工程配套淨化提純生質燃氣具有經濟可行性，生質燃氣工程項目能夠獲得持續穩定的收益，可降低對進口天然氣的依賴度。

罐裝生質燃氣。將生質燃氣淨化提純製成生質燃氣後，加壓進行罐裝銷售，供給無燃氣管網覆蓋或不具備鋪設管網條件的區域，特別是農村或山區等。在實際操作中，也有很多生質燃氣工程只將生質燃氣淨化脫硫，不進一步提純，加壓罐裝銷售，供給周邊對熱值要求較低的工廠、飯店以及居民使用，性價比高，可替代常用的液化石油氣，在給生質燃氣工程帶來利潤的同時，也降低了周邊企業和居民使用成本。

汽電共生。生質燃氣發電上網及汽電共生在德國備受推崇，若能放寬生質燃氣發電上網，同時，引導生質燃氣發電全面向汽電共生調整，汽電共生專案優先納網，享受相關上網補貼。汽電共生不僅可以避免單一發電或供熱，能源效益、經濟效益低的問題，而且汽電共生整體投入較低，對老舊項目改造小，可以快速推廣，大幅提高生質燃氣工程收益。

(二)沼渣高值化

沼肥產品。沼渣含有 30%~50%的有機質，10%~20%的腐殖酸，0.8%~2.0%的全氮，0.4%~1.2%的全磷，0.6%~2.0%的全鉀舊，

富含植物生長所需的微量元素和植物生長激素等，是優質有機肥料，可直接作為一種經濟適用的沼肥產品快速推向周邊農村使用，也可用於人工草坪、綠化帶等市政園林綠化，在國外十分常見。

商品肥料。利用沼渣制取高品質商品肥料，可提高沼渣附加價值。通過造粒技術將沼渣製成有機—無機顆粒複混肥，使其兼備有機肥和無機肥的雙重優勢，養分更全面均衡且用途廣泛。參照《有機肥料》標準（NY/Y525—2021），調整沼渣成分，可生產有機肥料、添加菌劑等製備微生物肥料以及生產腐殖酸型有機複合肥等商品肥料，增加沼渣的附加價值，提升肥料品質，延長產品運距。

沼渣養蚯蚓。利用沼渣養殖蚯蚓已經在工程項目上得到應用，取得不錯的經濟效益。有資料表明，將沼渣與田土混合製成蚓種培養土，用這種培養土養殖蚯蚓，可提高蚯蚓總產量，蚯蚓總產量分別是利用牛糞、雜菜葉和稻草與田土混合的 1.16 倍和 1.43 倍。由蚯蚓體製成的蚯蚓粉作為動物蛋白，已在人類營養和動物飼養業中得到越來越廣泛的應用，用從蚯蚓體提取的蚓激酶生產治療心腦血管疾病的藥物在市場上普遍應用。蚯蚓糞具有良好的保水性、透氣性，可以讓土壤形成糰粒結構，有利於水肥保持、改良土壤性狀。同時，蚯蚓糞富含營養物質，包括微生物、植物激素等，有利於植物生長，不燒苗，是優質的有機肥料。

牛場墊料。將沼渣作為墊料已在規模化乳牛場進行利用，實現了沼渣再生迴圈利用並節約牛場經營成本。使用無害化沼渣墊料，可節約墊料成本 62% 以上，發病率降低 31%。同時，可以提升乳牛生產性能和乳品質量。目前，國內常見的乳牛臥床以沙子作為墊料，當新鮮糞便和沙子混合在一起後，會形成易堆積的混合物，難以用泵輸

送，而且堵塞生質燃氣池。使用乳牛場糞汗厭氧產生的沼渣製作牛臥床墊料，大大提高了牛臥床的舒適度。一方面，乳牛趴臥在沼渣墊料的時間和次數顯著增加，次數增長了 36.8%；另一方面，提升了乳牛生產性能和乳品質量，泌乳量提高了 7.7%，乳脂率提高了 0.01%，乳蛋白率提高了 0.05%，實現了廢棄物的循環利用。該模式適合在規模化牛場推廣使用，大大提高了牛場經濟效益。

(三)沼液高值化

液態有機肥。沼液富含營養成分，具有良好的肥效，對沼液進行超濾濃縮等處理，可生產液態有機肥，將高科技、高附加值的液態有機肥在市場銷售，不僅能創造經濟價值，還能延長產品運距，解決周邊消納土地不夠的問題。充分利用沼液營養全面、緩急相濟、活性物質豐富、綠色生態等特點，生產沖施肥、葉麵肥、液體花肥、無土栽培營養液等，施用於有機果蔬、經濟作物以及花卉等，可替代國外進口的葉麵肥、花肥等高端產品，在效率、成本等方面具有很強的競爭優勢。

生物農藥。沼液被認為是無污染、無殘毒、無抗藥性的「生物農藥」，沼液對近 30 種農作物病害具有防治作用，其中，對 20 多種病害的防治效果達到或超過了現行使用的農藥。同時，沼液對 19 種蟲害有明顯的防治效果，對 17 種農作物病原菌有不同程度的抑制作用。沼液之所以具有如此優良的抗病防蟲能力，是因為沼液中含有 120 多種組成成分，其中有 20 多種成分使沼液具有抗病防蟲作用。因此，可以有針對性地生產生物農藥，減少化學農藥使用，降低環境污染。

土壤改良。中國約有 1 億 hm^2 鹽鹼地，從南到北，自東向西，分佈廣泛，存在較大的改造利用空間，蘊藏巨大的經濟價值。沼液是

一種速緩兼備的有機液體肥，施入沼液能夠顯著增加土壤有機質，提升土壤營養成分含量，促進土壤糰粒結構的形成，提高微生物活性，從而達到改良土壤的作用。研究表明，對甘肅鹽鹼地施用沼液後，土壤肥力顯著提高，同時，改善了土壤的理化性質，降低了土壤 pH；在濱海鹽鹼地中施用沼液後，改良了土壤性狀，降低了土壤 pH 值、Ec 值，改善了土壤的酸鹼度，進而提高或恢復了土壤的肥力。可見，利用沼液進行鹽鹼地生態改造是可行的，不僅可以有效利用沼液資源，改良鹽鹼地，而且可以獲得較好的經濟效益，提升生質燃氣工程資源化利用的價值。

(四)生質燃氣制氫

生質燃氣是一種主要成分為甲烷和二氧化碳的混合氣，氫能是未來的關鍵清潔能源載體，以生質燃氣為原料制取的氫氣是綠色清潔可再生能源。將生質燃氣首先提純為生物甲烷，再以生物甲烷蒸汽轉化制氫兩步過程均有成熟的商業化技術，但是技術路線較長。將甲烷蒸汽轉化技術加以調整，直接以生質燃氣為原料蒸汽轉化制氫，可以簡化技術路線，同時該路線技術和經濟上都是可行的，具有現實意義。

生質燃氣的主要成分及含量一般為： CH_4 約 50%~70%， CO_2 約 30%~50%， H_2O 約 1%~5%， H_2S 約 100~300 mg/L， O_2 約 0~0.5%， N_2 約 0~0.5%，並可能含有少量的有機硫、VOC 等多種雜質。生質燃氣經過淨化提純後可以得到甲烷濃度為 95% 以上的生物甲烷，能夠替代常規天然氣用作民用燃料或工業用途。

國內外均認為蒸汽轉化法是以甲烷為原料生產工業氫為最佳方案，目前，通過甲烷蒸汽轉化法（steam methane reforming，SMR）

制取的氫氣約占氫氣總產量的一半。生質燃氣提純後制取的生物甲烷可用做蒸汽轉化的原料，將兩種技術結合可實現從生質燃氣轉化為氫氣的過程。同時，將生質燃氣先提純再蒸汽轉化的技術技術流程較長，將生質燃氣直接蒸汽轉化制氫可以縮短技術流程，從而降低投資與營運成本。

在經濟性分析方面，以連雲港某制氫工廠為例，使用的管路工業天然氣成本在 3.4~4.1 元/Nm³ 之間。天然氣成本占氫氣總成本的 60%左右，如扣除投資折舊等成本，天然氣成本占總營運成本的 80%左右。中國原料生質燃氣價格通常在 0.5~0.8 元/Nm³ 之間。鑒於中國工業天然氣和生質燃氣之間的價格差異，與重組天然氣制氫相比，重組生質燃氣可顯著節省營運成本 50%以上。

以產氫能力 2000Nm³/h 的 SMR 制氫工廠為例，同時考慮到燃料消耗，每小時需消耗天然氣約 860Nm³，折合生質燃氣約 1600Nm³/h。若先將生質燃氣提純後再進行 SMR 制氫，生質燃氣膜提純裝置需投資約 2000 萬元，SMR 裝置投資約為 4600 萬元，總投資約 6600 萬元。採用生質燃氣直接蒸汽轉化制氫，可節省大部分生質燃氣提純設備投資，預計可節省總投資約 1000 萬元。同時由於流程縮短，設備數量減少，還可以節省營運維護費用。

(五) 彈性生質燃氣生產

本技術是德國近年來提出的用以實現有機廢棄物綜合利用的新方法。Hahn 等學者對彈性生質燃氣生產（以下均稱「彈性產氣」）的概念歸納如下：彈性產氣是一種通過調節厭氧發酵反應過程，在有能源需求時即時定量產生質燃氣的技術。相對於調節生質燃氣儲氣容量，彈性產氣技術可以將發酵罐產氣集中在高需求時段，從而不再

需要很高的生質燃氣儲存容量，降低生質燃氣廠的投資、營運和管理成本。因此彈性產氣被視為一種具有前景的按需供氣方法。

彈性產氣最簡單的實現方法是改變底物投料時間間隔、底物類型及其品質流量或體積流量以便在生質燃氣需求高峰時段提高生質燃氣產量。

其中，改變投料的時間間隔是根據用電高峰和低谷出現時刻，彈性調整投料的時刻和時間間隔，使實際產氣曲線和用電需求曲線儘量貼合。現階段厭氧發酵技術以連續式投料為主，當改變投料方式時，技術將轉換為半連續式投料，其脈衝式投料會增加當次投料的有機負荷，從而增大發酵罐酸化的風險。對此，張念瑞等採取室內實驗，對餐廚垃圾和剩餘污泥按系統負荷，不同進料頻率下產氣量、氣體組分和揮發性脂肪酸的變化進行了分析，結果表明進料頻率越高，系統的穩定性越高，而當進料為每天一次時，系統出現了丙酸的累積。由此可見，通過改變投料時間間隔實現彈性產氣時，有機負荷和投料頻率的選擇是關鍵性因素。表 4 情景下，由低頻逐漸增加至高頻進料時生質燃氣產量和微生物活性，結果均表明，產甲烷菌群落在所有投料方式下都保持穩定。

改變投料底物及投料方式是目前最常用的彈性產氣手段。實際操作中，通常根據各投料基質的性質特徵和產氣潛力，選取降解速率快的作為實現即時產氣的調節基質。現有研究選取頻率最高的的投料基質為作物秸稈（例如玉米青貯菜青貯和牧草青貯）和畜禽糞便等，它們的相關生質以及生質燃氣產氣潛力等見表 3。相關研究通過改變底物投料方式實現彈性產氣的具體方法見表 4。從研究結果來看，富含水溶性碳水化合物的一類易降解基質例如甜菜青貯等，在投

料之後易於取得較高的甲烷產氣速率，適合作為彈性產氣的調節型基質。

表 3 彈性產氣常用投料基質的性質

	TS	VS	沼氣產量 (Nm ³ /t 底物)	甲烷產量 (Nm ³ /t 底物)	基於 VS 的 甲 烷 產 量	一階動 力學參 數 k
玉米 青貯	28~35	85~98	170~230	89~120	234~364	1.5
牛糞	6~11	75~82	20~30	11~19	110~275	0.4
甜菜 青貯	16	90	75~100	40~54	332~364	2.8
牧草 青貯	25~50	70~95	170~200	93~109	300~338	0.114

表 4 彈性產生質燃氣的實現途徑

投料基質	彈性產氣的途徑
牛糞、玉米青貯和甜菜青貯	根據這三種基質的降解特性（一階動力學常數）組合，優化分配不同的底物的每日投料量，以獲得最大的沼氣產量並貼合沼氣需求曲線。
分選預處理後的家庭餐廚垃圾、牧草青貯、牛奶奶漿，掌狀海帶	基質在低有機負荷 $2\text{kgVSm}^{-3}\text{day}^{-1}$ 下進行半連續試驗，獲取甲烷產氣率和動力學參數等性質參數。基於此，根據 O'Shea 所建模型，獲得利用這些基礎進行彈性產氣的投料時間等營運參數。
牛糞、玉米青貯	每次基質的投料量依據預先設定好的沼氣利用方案，根據 ADMI 模型計算出相應的投料量。玉米青貯動態投料實現彈性產氣，牛糞每次按固定量投料，投料時間間隔 2h。
牧草青貯和甜菜青貯	使用甜菜青貯作為易降解物質，對產氣進行即時性調節。實驗分別設置了兩組有機負荷 $-1.5\text{kgVSm}^{-3}\text{day}^{-1}$ 和 $2.5\text{kgVSm}^{-3}\text{day}^{-1}$ 。每組牧草與甜菜青貯分別按進料比（基於發揮性固體）1:0, 3:1 和 1:3 間歇進料，每 8h 進料一次。
胡蘿蔔、玉米青貯和甘油	三種基質分別作為增加負荷調節產氣的基質，使有機負荷提高至基準投料負荷的 2~4 倍。
汗水廠汙泥和粗甘油	將粗甘油間歇式注入汗水汙泥中實現彈性產氣。粗甘油每小時以離散注射的方式添加，設置高負荷和低附和兩個情景，分別以 6h 內甘油基準負荷的 0.63% 和 3% 進行添加。
牛糞、玉米青貯和壓實牧草	牛糞作為維持基底負荷的投料基質按 $2.60\text{kgVSm}^{-3}\text{day}^{-1}$ 進行投料，分別使用玉米青貯和壓實牧草進行脈沖式投料使有機負荷倍增至 $5.2\text{kgVSm}^{-3}\text{day}^{-1}$ 實現彈性產氣。

改變厭氧發酵技術亦可實現彈性產氣，例如採用兩相厭氧發酵，產生一種易消化的液態基質，向固定床消化反應器中動態投料實現

短時間內迅速增加生質燃氣產量。

該方法最典型的例子是可調式生質燃氣廠(德語譯作「Regelbare Biogasanlage」, 簡稱 ReBi 生質燃氣生產技術), 技術流程見圖 1。厭氧發酵反應第一步輸出的水解反應產物, 通過螺旋壓力機分離成液體和固體部分, 固體部分投料至連續攪拌槽反應器 (CSTR) 中, 以連續產氣方式輸出生質燃氣; 而富含易消化有機質的液態部分則被輸送到儲罐, 在有生質燃氣需求時, 即時向固定床反應器進行投料; 反之則減少投料。ReBi 生質燃氣生產技術利用固定床反應器, 使用填料將微生物停留在反應器中, 因此可以承受較大的有機負荷。

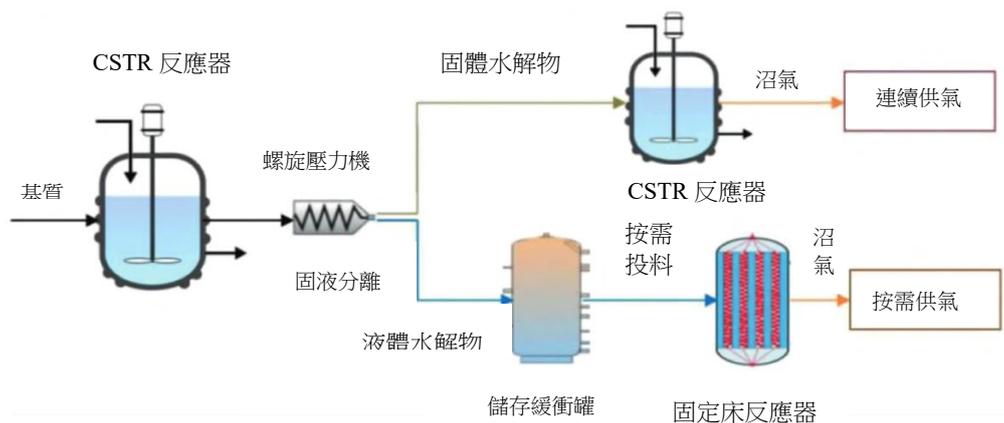


圖 1 ReBi 生質燃氣廠技術流程圖

類似的厭氧反應配置改進還有兩相浸出固定床反應器(見圖 2), 使水解和酸化反應發生在浸出床反應器中, 在固定床反應器中發生產甲烷反應產生質燃氣。浸出床反應器以序批式投料, 浸出液通過回流迴圈使基質和微生物充分混合。最終在浸出床底部富含高有機質成分的水解酸化浸出液, 向固定床反應器即時投料以實現彈性產氣。

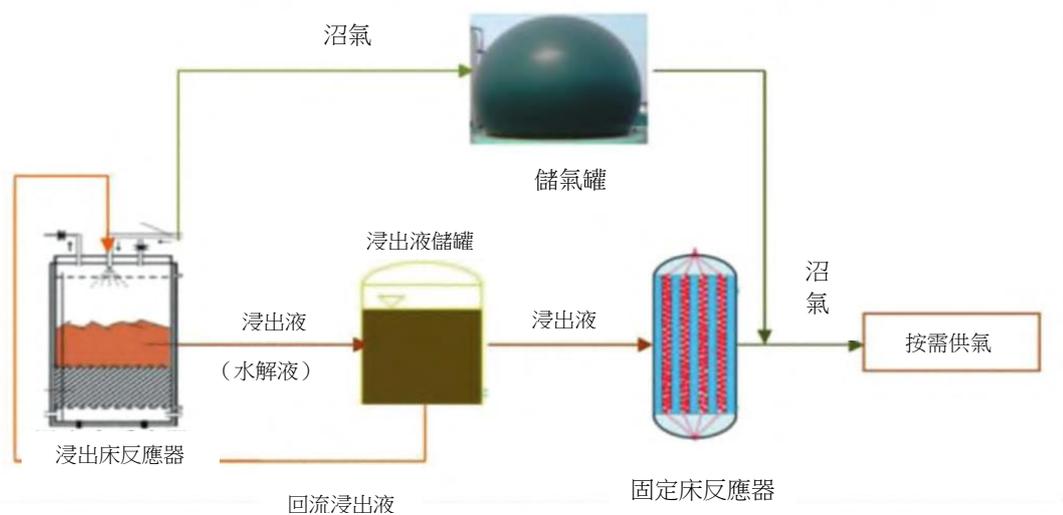


圖 2 兩相浸出床／固定床反應器技術流程圖

對於改變厭氧反應設備配置實現彈性產氣，Linke 等人使用玉米青貯為投料基質，利用連接厭氧濾床的兩相浸出床反應器實現彈性產氣，結果表明與傳統的連續式進料相比，該技術可使每天甲烷產量增加。同樣採用厭氧濾床的兩相浸出床反應器，Lemmer 等人實驗結果表明 1h 內生質燃氣產量相對提高了 300%~400%，既使有機負荷驟增時系統依然具有穩定性。

為有效達成糧食安全、永續農業、遠洋、近海及內陸水資源與生物資源利用之目標，歐盟在 2014-2020 年投入 800 億歐元，推動歐盟展望 2020 計畫 (HORIZON 2020)，致力於上述領域之研發與創新研究。歐洲創新聯盟 (European Innovation Partnerships, EIP) 即是為進行上述研究而成立之組織，包含農業及森林、活力及健康高齡化社會、水資源、原物料、智慧城市及社群等 5 個部門。

歐洲創新農業聯盟 (EIP-AGRI) 係針對農業及森林事務所成立的部門，預計未來在農業及森林領域將面臨到糧食安全 (food security)、食品安全 (food safety)、農產品品質 (Quality of agricultural

products)、農業永續發展 (Sustainable development of agriculture) 與氣候變遷 (Climate change) 等問題。循環經濟的理念是將資源效率置於經濟決策的核心，確保資源能增值並盡可能地再次被使用，以一個經濟體來說，必須做到資源最小化、效率最大化、成本最小化。若應用於農業和林業領域中，則意味著，應盡可能地使用廢棄物質做為「資源」，將廢棄階段由經濟系統的末端導回開端，創建可再利用循環，且無論是在農場或是在森林中，或透過個人、企業和部門等各種規模，使區域內的資源能有效地、充分地利用。

同時，EIP-AGRI 指出生物經濟往往與循環經濟混淆，循環經濟是注重資源的效率，而生物經濟側重於可再生生物資源的生產、使用及其轉化。將生物資源轉化為增值產品，如：食品、飼料、生物基材料以及生物能源。農業、林業、水產養殖業、漁業及其他海洋生物等皆是可實現生物經濟的領域。循環經濟和生物經濟都需要創新的商業模式，為了減緩氣候變遷對農業及森林之衝擊，歐洲創新農業聯盟 (EIP-AGRI) 為實現循環經濟的理想以及促進生物經濟永續發展，為農業和林業部門提供了許多機會，包括：

1. 透過新興資源的利用及開拓新市場，創造新收入來源及就業機會。
2. 提供多元化做法，建立部門與企業兩者之間的新聯繫。
3. 透過更有效率的資源效益商業模式轉換，降低因商品價格或政策變化帶來的風險。
4. 透過可持續的資源利用及製造更多廢棄資源，以降低成本。

因此，由農業及林業部門所構成的生物經濟循環架構，其內涵係奠基於農林部門實際自然生長週期，並考量料源與產出時序間之關

聯性，以系統循環方式滿足生質產品需求及透過替代減少同質性化石產品使用所排放之溫室氣體。

貳、研究方法與過程

一、三種可應用於生質燃氣之料源評估

參考 110 農業統計年報，110 年度國內之稻米總收穫面積 224,022 公頃，總稻草廢棄物產量約為 1,560,870 公噸。建議理由：為國內產量最多之農業廢棄物，主要產地集中於台中、彰化、雲林及嘉義等鄰近區域，有利於在縮短運距原則下進行燃氣廠建置之選址。

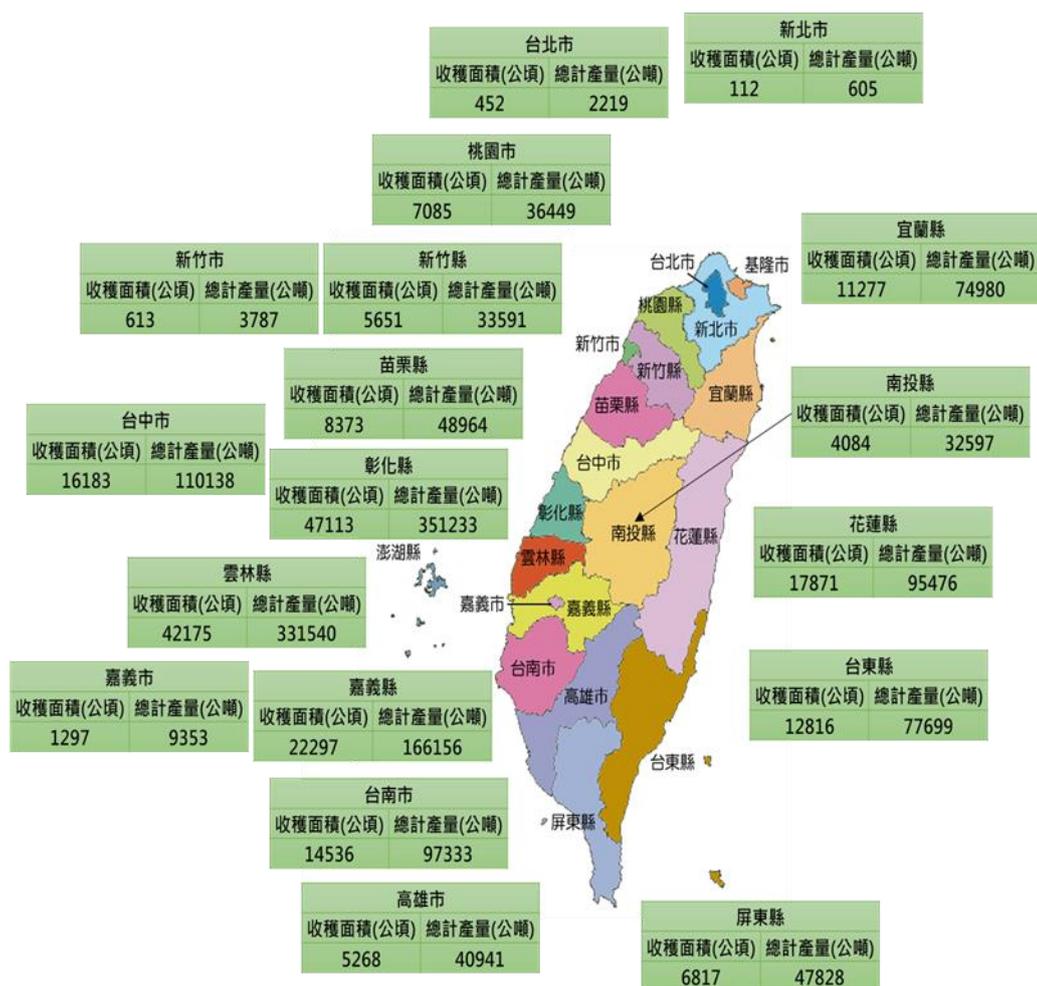


圖 3 111 年度國內稻草總產量

參考 110 農業統計年報，110 年度國內之廢菇包栽培數量約 30,475 萬包，廢菇包總產量約為 175,975 公噸，產地來源主要以台

中、彰化、南投、台南為主。建議理由：廢菇包產地集中於中部地區養菇場，容易集運，且視為需要處理之事業廢棄物，故集運費不僅降低，甚至可能可以收費，對降低燃氣生產成本應有助益。



圖 4 111 年度國內廢菇包總產量

參考 110 農業統計年報，110 年度國內之狼尾草總收穫面積 1,984 公頃，總狼尾草產量約為 270,355 公噸。狼尾草原栽植用途為牧草，但因生長量極高，已有去化需求，廣義上亦可視為農業廢棄物，且全年皆可栽植及機械採收，又產地集中於中部與南部，因此適宜與季節性產出的稻草及週期性產出的廢菇包搭配使用。

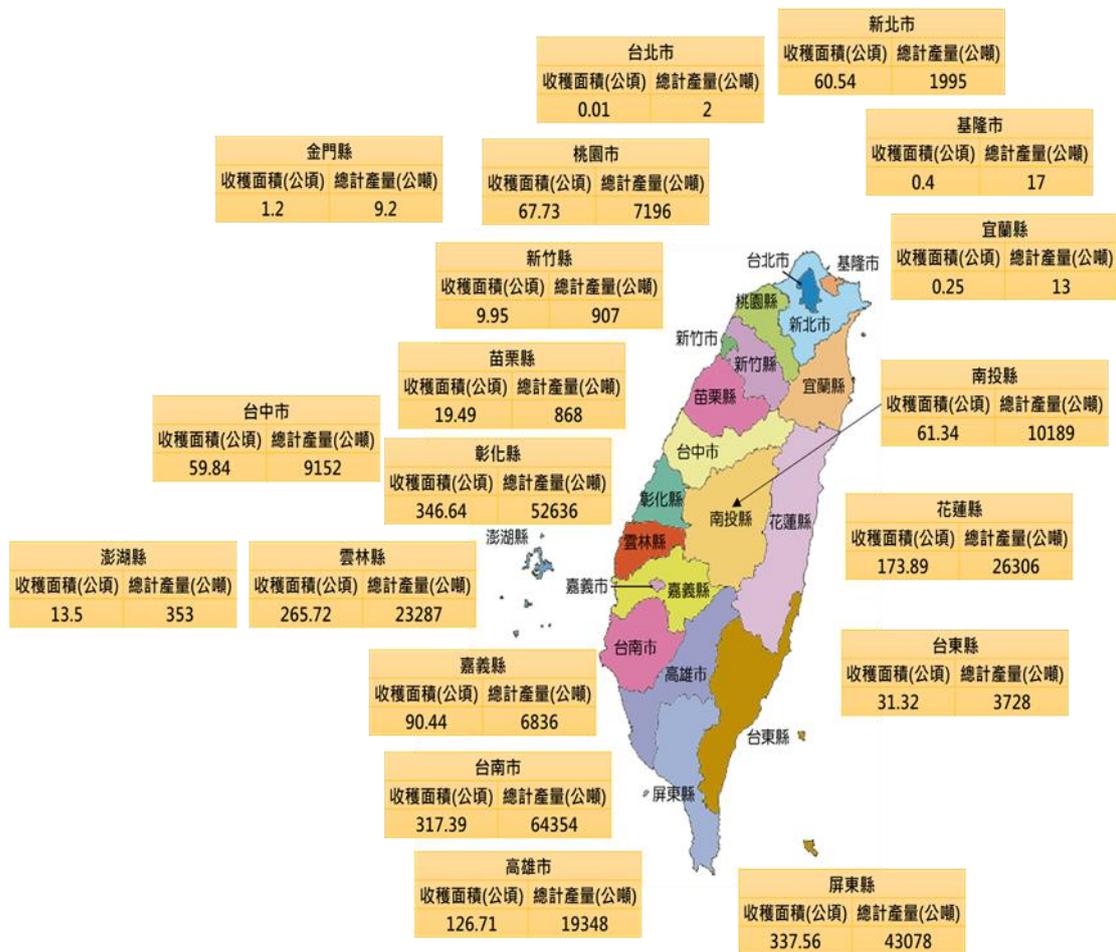


圖 5 111 年度國內狼尾草總產量

從初步料源盤查、產量等相關資料評估後，建議稻草、廢菇包及狼尾草可為國內用於生質燃氣生產的建議料源。經文獻分析後發現上述三種料源經適當的處理後，產氣量皆可達 400 L/VS kg 以上，如表 5，應能符合貴所計畫要求。後續可視實際需求，擇一進行驗證之。

表 5 建議料源

建議料源	產氣量(L/VS kg)	引用文獻
稻草	574.5	Effect of Ca(OH) ₂ pretreatment on extruded rice straw anaerobic digestion, <i>Bioresource Technology</i> , 196, p.116–122 (2015).
廢菇包	492 (以VS 89%，甲烷 濃度50%換算)	Evaluation of Pretreatment Effect for Spent Mushroom Substrate on Methane Production, <i>Journal of Water and Environment Technology</i> , 17, p.174–179 (2019).
狼尾草	410-500	<ul style="list-style-type: none"> • A comprehensive review on recent biological innovations to improve biogas production, Part 1: Upstream strategies., <i>Renewable Energy</i>, 146, p.1204-1220 (2020). • Biogas and its opportunities—A review., <i>Front. Environ. Sci. Eng.</i>, 12, (2018).

二、以地理資訊系統評估料源與應用情境

廣義而言，農業資源涵蓋農產、林業、畜牧及漁業等產銷資源，《農業發展條例》第三條亦明確定義「農業」範疇係指利用自然資源、農用資材及科技，從事農作、森林、水產、畜牧等產製銷及休閒等事業。因此，如何讓農業獲得永續經營及利用，並從傳統生產端走向農業六級產業化，以國家政策高度使循環經濟及農業議題結合，透過嶄新思維及發展策略，將各縣市擁有的資源稟賦、人口、環境、社會進行協調、以互補方式達成農業與經濟成長方式，即是當前各國以農業結合循環經濟來積極發展低碳產業之核心實踐，如強化農業生態系統與產業結構，提高農業系統物質能量的循環利用層級，使其獲得充分利用，藉由再利用方式減少新物質之投入，皆能作為減輕對環境及生態負擔之方式。

農業循環經濟涵蓋面向眾多，若以生質能進行低碳產業之發展，過往研究盤點臺灣現有農產、林業、漁業、畜牧等可供作料源之農業資源物，以纖維生質物能見度最高，該料源主要係以稻米、玉米、甘蔗等農業廢棄物作為潛力生質料源，此外亦有竹子及狼尾草等非屬農業廢棄物之纖維生質物來源。為勾勒出各縣市生質料源潛力地圖，俾後續提出低碳燃氣應用情境，爰本研究首先針對各縣市農業生產情況進行次級資料收集，以掌握各項可供發展低碳燃氣產業之農業廢棄物潛在供應數量，進一步以縣市尺度進行評估分析。

另一方面，參照行政院主計總處所公布之綠色國民所得帳編制報告（環境與經濟帳）定義，農業廢棄物係指農產、林產、漁產、畜產、農產品批發市場及食品加工等生產活動中所產生之廢棄物，以生質能所需料源而言，無論是農業正產品或其衍生產品皆為生質能料源高度仰賴來源，又生質能係各種有機物在經由各項自然或人為化學反應後，將其中所蘊含的化學能加以釋出轉化為可供人類使用之熱能，其中生質能轉換（Biomass conversion）主要係藉由物理、熱或生物轉換為熱能、生質酒精、燃油或沼氣等，爰本研究針對國內畜牧業、醱質作物、澱粉作物及綠肥（油脂）作物資源進行盤點。

本研究於盤點各縣市農業生產情形後，將運用地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）將潛力生質料源依產出區位及各料源產地、農業作物類別、禽畜類別、產量進行分類，以地理資訊系統進行空間分析，評估可供發展生質技術作為低碳燃氣料源的農業資源主要熱點地區。由於農業廢棄物所與其他化石能源衍生產品特性相異，其中最大的差別為供應穩定性，即是各項農業廢棄物所能供應之季節時序不盡相同，並非隨時皆能滿足需求端之需要，為使

本研究所規劃之國內生質能低碳燃氣情境具可實現性，故下述章節將針對上述農業資源物外，另擴及各項潛力料源進行供應地區熱區分析，以規劃各種生質技術所需料源之最具經濟可行性設置區位。

(一)國內畜牧業資源盤點

以生質料源作為需求考量，其來源除一般農業正產品，亦含收穫農產品後所剩之農業廢棄物（衍生生產物、副產品），而前者的種植成本與其農業廢棄物的資收價格雖未有直接關聯，但基於栽植作物須於收成後方有農業廢棄物可供作生質料源，兩者屬正副產品關係，故本節擬以國內畜牧業的家畜及家畜作為正產品數量，藉由其養殖數量推估其所產之副產品排泄物，以掌握國內畜牧業資源重點縣市。

1. 各縣市畜牧業家畜資源盤點

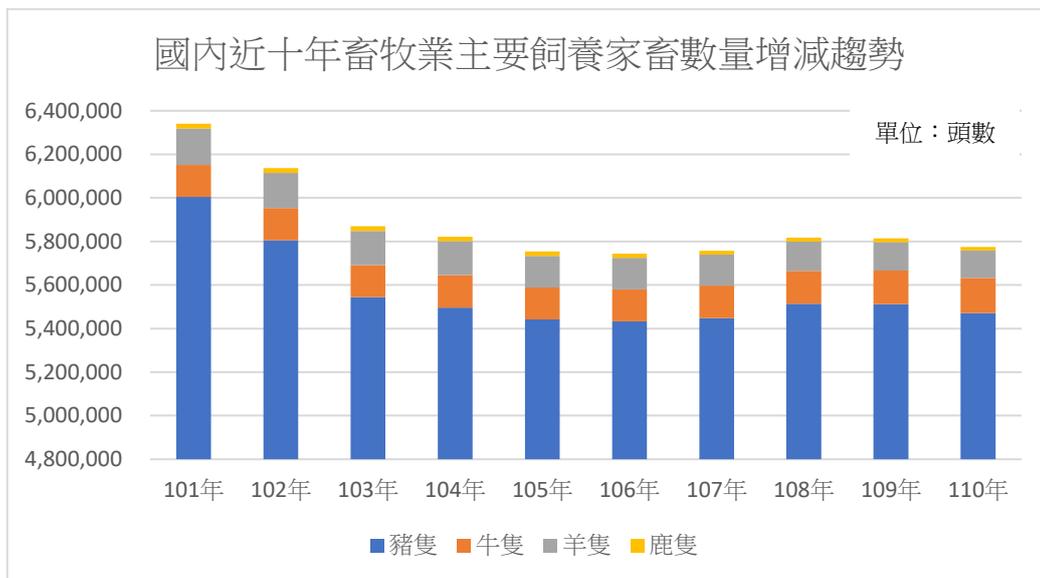
畜牧場所產生的排泄物經集中回收，除傳統用途供種植作物澆灌使用外，更可作為沼氣發電的生質料源，成為供熱、電等能源的來源，滿足需求端的能源需求。觀察國內畜牧業大宗飼養之家畜，主要以豬、牛、羊及鹿為主要飼養物種，由於國人飲食習慣改變及農產品項目中畜牧肉品貿易進出口政策調整，可發現豬隻飼養隻數自民國 101 年以來逐年遞減，反之牛隻則呈現遞增，而受飼養成本及市場消費者喜愛度影響，羊隻及鹿隻明顯飼養數量日趨減少，整體而言，如下表 6，國內近十年畜牧業總飼養家畜數量平均仍維持 570 萬頭以上，並以豬隻飼養為最大宗（如下圖 6），雖近年肉品受國際貿易政策影響，國產豬肉消費量降低近一成，但仍維持每年近 550 萬頭飼養量。

表 6 國內近十年畜牧業主要飼養家畜數量

單位：隻

年份	豬	牛	羊	鹿	合計
101	6,004,717	146,186	167,103	22,778	6,340,784
102	5,806,237	147,398	160,850	21,633	6,136,118
103	5,545,010	145,739	157,778	21,210	5,869,737
104	5,496,216	149,379	156,045	20,201	5,821,841
105	5,442,381	146,030	146,000	19,301	5,753,712
106	5,432,676	147,152	144,733	18,851	5,743,412
107	5,447,283	150,346	141,533	18,198	5,757,360
108	5,514,211	150,791	134,789	17,295	5,817,086
109	5,512,274	153,630	130,595	17,105	5,813,604
110	5,471,588	161,124	126,067	16,621	5,775,400

資料來源：行政院農業委員會（2022）、本研究整理。



資料來源：本研究分析繪製。

圖 6 國內近十年畜牧業主要飼養家畜數量增減趨勢

在各縣市飼養總量方面，畜牧業家畜飼養地區集中於雲林縣、屏東縣、彰化縣及臺南市等傳統農業縣市，觀察表 7，有關 110 年各縣市飼養家畜數量統計，其中雲林縣及屏東縣仍分別高達 155 萬及 121

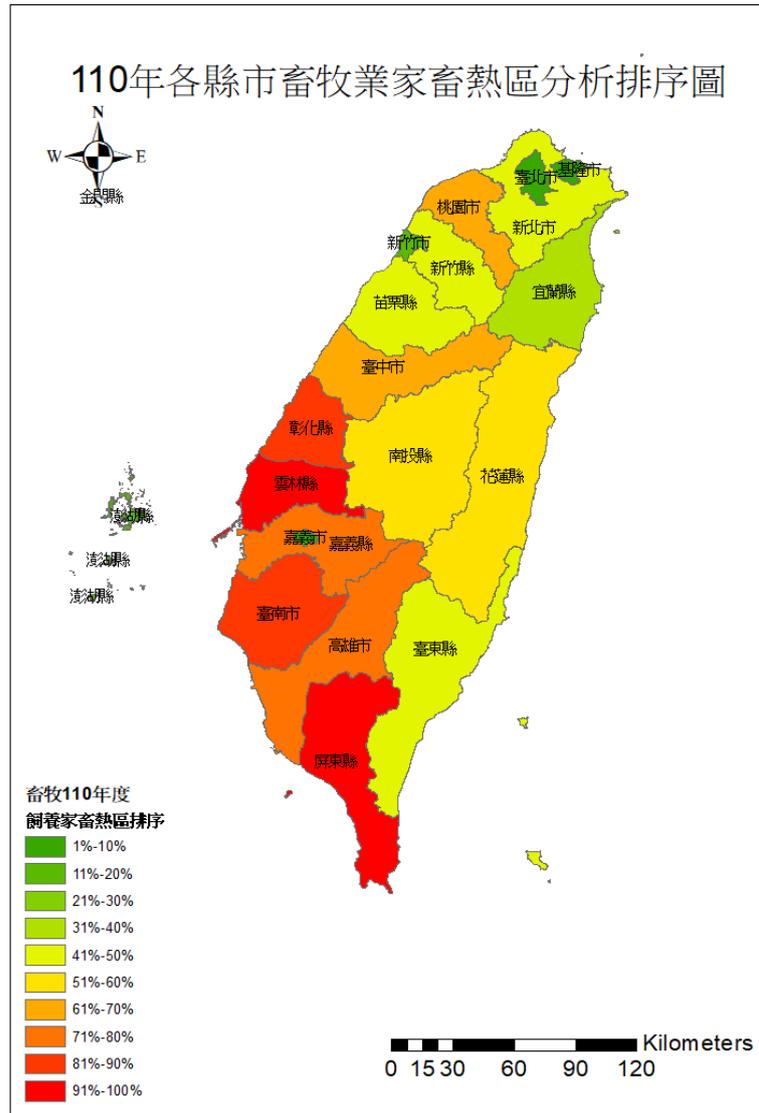
萬頭，為我國重要的養豬大縣。同時，從下圖 7 可發現畜牧業家畜飼養熱區為彰化以南的西部地區，而過往畜牧業常所衍生的糞尿廢水污染河川及異味問題，在近年環保署近年積極推動「畜牧糞尿資源化」政策下，原畜牧業所排放之家畜糞尿過往多以廢水、廢棄物處理進行去化，在有效資源化的政策目標下，富含有機物、氮及磷等物質之畜牧業家畜廢水，可採厭氧發酵技術將有機物質轉換為沼氣，而氮與磷則存留於沼渣及沼液中，因此，沼氣可作為發電或供熱使用、沼渣及沼液則可供農業生產時農地所需肥份使用，因此，畜牧業家畜飼養數量之熱區，如能透過合適技術應用，意味著該縣市（如雲林縣、屏東縣及彰化縣）即係為具備發展畜牧循環經濟之高潛力地區。

表 7 110 年各縣市畜牧業主要飼養家畜數量

單位：隻

縣市	豬	牛	羊	鹿	合計
雲林縣	1,557,486	21,921	15,924	598	1,595,929
屏東縣	1,216,544	28,215	11,368	436	1,256,563
彰化縣	758,381	33,959	21,322	484	814,146
臺南市	579,618	25,204	22,140	3,292	630,254
嘉義縣	390,702	9,457	10,956	532	411,647
高雄市	298,092	8,318	12,080	679	319,169
桃園市	122,053	5,813	884	406	129,156
臺中市	95,203	4,222	4,884	758	105,067
南投縣	78,091	766	4,788	6,177	89,822
花蓮縣	69,954	4,981	1,307	324	76,566
苗栗縣	63,110	2,776	4,610	809	71,305
新竹縣	62,302	2,940	1,296	74	66,612
新北市	55,624	1,985	495	678	58,782
臺東縣	52,332	2,974	2,629	404	58,339
宜蘭縣	46,826	310	507	374	48,017
金門縣	10,176	5,648	7,438	395	23,657
新竹市	10,176	494	381	7	11,058
澎湖縣	2,407	951	2,706	43	6,107
嘉義市	2,397	108	279	39	2,823
臺北市	29	82	48	74	233
連江縣	85	-	16	-	101
基隆市	-	-	9	38	47

資料來源：行政院農業委員會（2022）、本研究整理。



資料來源：本研究分析繪製。

圖 7 110 各縣市畜牧業家畜熱區分析圖

2. 各縣市畜牧業家禽資源盤點

除上述家畜類外，禽類被視為優質的動物性蛋白質補充來源，係受國人各年齡層青睞的肉類食物，我國家禽主力飼養物種為肉雞及蛋雞，其次為鴨、鵝及火雞，因此雞隻近十年各年度飼養數量多保持在年飼養量一億隻以上（參照下表 8、圖 8），而家禽類總飼養數量則

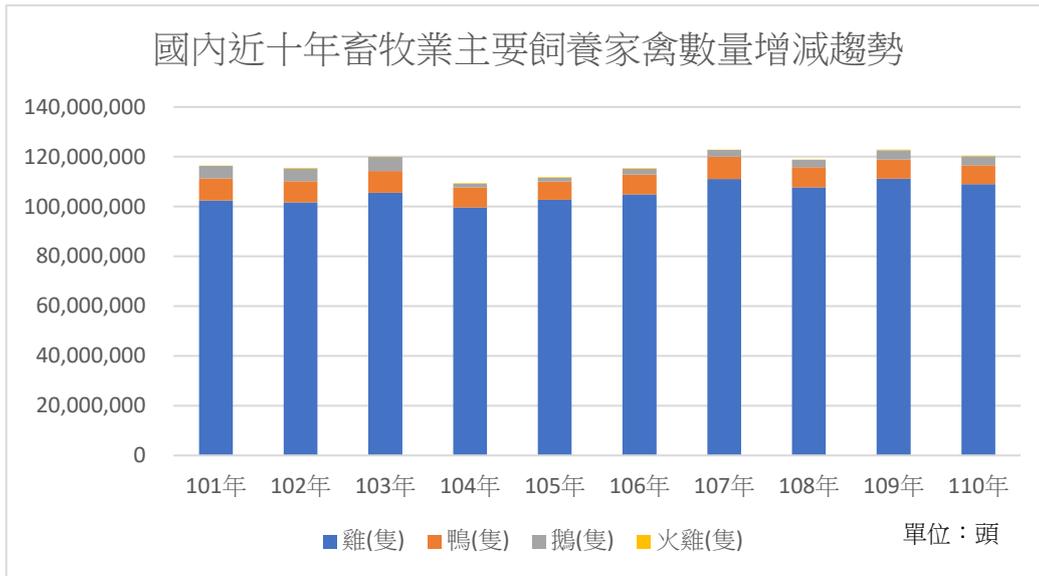
長年保持一億兩千萬隻數附近，探究其背景係因臺灣從農村邁入工業化後，為增加家禽飼養效率及提供高蛋白質含量、低脂肪含量之肉品給都市地區的人口食用，各縣市的家禽飼養逐漸朝向集約化的工業化農場生產，改善飼養模式雖有效的增加家禽換肉率及飼養數量，但過程中所產生的大量家禽糞便亦成為環境隱憂，而為有效解決家禽糞便問題，藉由醱酵腐熟技術或乾燥加工為「熟家禽糞」供作農作肥料使用，便成為普遍的去化管道，惟尚未經處理的「生家禽糞」，有別於前者，係受不同主管機關所管理，因此家禽糞成為遊走於可用於栽培作物的「肥料」，或是受廢棄物清理法所控管的「廢棄物」。

表 8 國內近十年畜牧業主要飼養家禽數量

單位：隻

年份	雞 (肉雞及蛋雞)	鴨	鵝	火雞	合計
101	102,448,407	8,879,080	4,928,574	236,504	116,492,666
102	101,652,108	8,511,418	5,159,710	220,501	115,543,839
103	105,561,012	8,720,055	5,549,135	211,906	120,042,211
104	99,633,599	8,119,955	1,383,401	196,686	109,333,745
105	102,659,345	7,383,468	1,557,059	184,057	111,784,034
106	104,870,944	7,924,754	2,384,246	184,797	115,364,847
107	110,996,566	8,976,851	2,754,525	177,811	122,905,860
108	107,731,933	8,015,532	2,985,357	160,016	118,892,946
109	111,157,816	7,647,816	3,829,048	193,692	122,828,481
110	109,041,313	7,526,179	3,643,526	172,704	120,383,832

資料來源：行政院農業委員會（2022）、本研究整理。



資料來源：本研究分析繪製。

圖 8 國內近十年畜牧業主要飼養家禽數量增減趨勢

在各縣市家禽飼養總量方面，與畜牧業家畜相似，家禽飼養地區同樣高度集中於彰化縣、屏東縣及雲林縣等傳統農業縣市，觀察下表 9，有關 110 年各縣市飼養家禽數量統計，其中彰化縣及屏東縣分別高達 2,973 萬及 2,109 萬隻，同時，從下圖 9 亦可發現畜牧業家禽飼養熱區為彰化及南投以南的西部地區，其中家禽類又以肉雞及蛋雞飼養數量最多。

至 110 年度統計，全國總飼養家禽數量單年高達 1 億 2,038 萬隻數，雖滿足國人日常飲食需求，但飼養過程所產生的家禽糞尿亦易形成環境問題，如生雞糞雖得提供作物生長所需營養，但未經處理之雞糞長期作澆灌使用將會在土壤內累積鋅、銅等重金屬，造成農地重金屬含量超過管制標準風險，並影響鄰近土壤水文及河川流域環境品質，同時易產生異味易吸引蒼蠅及其他病蟲類而出現病蟲害而影響公共衛生。

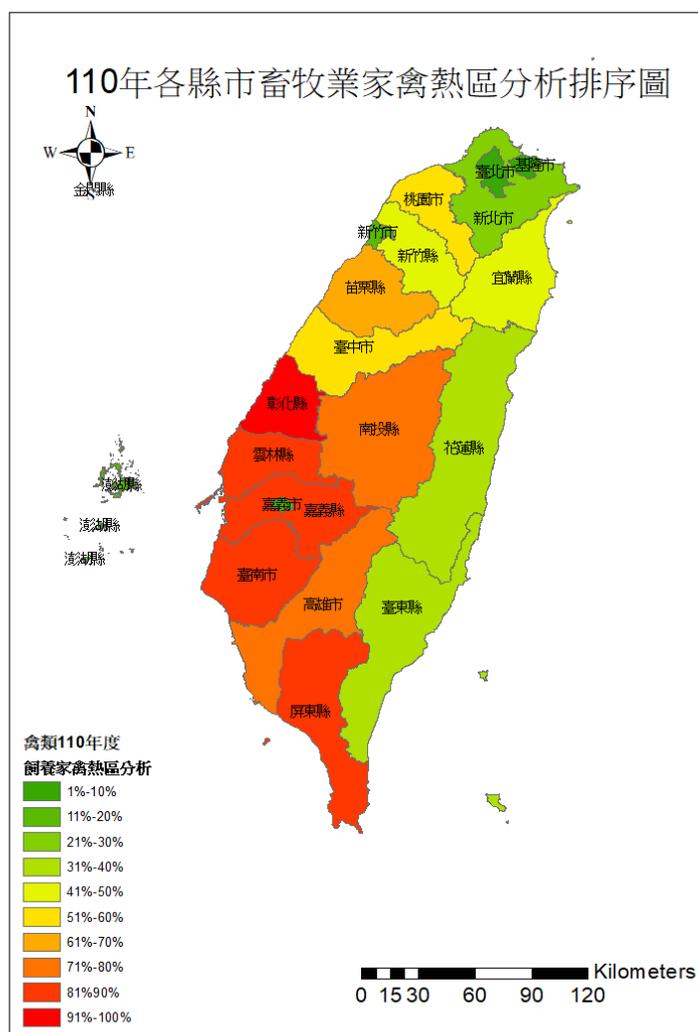
以國內家禽飼養最大宗的蛋雞及肉雞所產生之生雞糞為例，雖目前有《禽畜糞堆肥場營運許可管理要點》、《農業事業廢棄物再利用管理辦法》等法規規範養雞場內需建置堆肥設施，並以醱酵腐熟前處理生雞糞，惟製成堆肥過程耗時、人力支出高、異味易受鄰近住家抗議等問題，而經由繁瑣工序後所販售之熟雞糞價格在扣除製程成本後，該利潤與生雞糞差異不大，在價格誘因不足下致堆肥設施多淪為形式。因此，為使家禽糞得作為有效使用的農業資源物，近年除供作農地肥糞使用外，也逐漸朝向更高價值去化模式運用，如家禽糞的燃燒熱值與一般家庭廢棄物相當，部分業者將焚化雞糞廢熱蒸汽轉換為電力，或是透過發酵技術使所產之沼氣集中處理進行沼氣發電，供自身養雞場使用或躉售回台電公司，以轉換為綠電作為響應循環經濟之實踐。

表 9 110 年各縣市畜牧業主要飼養家禽數量

單位：隻

縣市	雞 (肉雞與蛋雞)	鴨	鵝	火雞	合計
彰化縣	27,790,103	1,812,818	125,383	944	29,729,248
屏東縣	18,440,952	2,355,027	293,364	8	21,089,351
雲林縣	13,680,775	1,929,475	1,296,182	56,881	16,963,313
臺南市	14,422,294	470,350	670,915	56,698	15,620,257
嘉義縣	13,524,274	267,213	633,464	56,372	14,481,323
高雄市	5,452,233	77,779	387,843	-	5,917,855
南投縣	4,433,229	232,572	27,917	24	4,693,742
苗栗縣	2,605,602	13,669	49,446	-	2,668,717
桃園市	2,156,369	1,904	65,468	10	2,223,751
臺中市	2,022,087	61,419	70,381	139	2,154,026
新竹縣	1,633,982	6,880	309	4	1,641,175
宜蘭縣	1,252,171	103,610	61	16	1,355,858
臺東縣	910,617	288	1,139	59	912,103
花蓮縣	340,534	185,401	2,692	566	529,193
新北市	173,993	33	9,504	-	183,530
金門縣	126,608	2,060	9,183	13	137,864
新竹市	35,984	5,126	50	970	42,130
嘉義市	19,570	-	-	-	19,570
澎湖縣	17,252	65	52	-	17,369
臺北市	1,594	419	161	-	2,174
連江縣	588	-	-	-	588
基隆市	502	71	12	-	585

資料來源：行政院農業委員會（2022）、本研究整理。



資料來源：本研究分析繪製。

圖 9 110 各縣市畜牧業家禽熱區分析圖

(二)國內生質能作物資源盤點

隨著國際糧食安全問題及糧食供應國地緣政治風險加劇，近年生質料源的來源已從過往的直接生產生質作物提供，逐漸朝向農業廢棄物/資源物的有效利用，嘗試在糧食安全與生質料源需求間達成平衡，使農業廢棄物除可獲得去化管道，更有機會開創其他相關產業出現。而臺灣生質能政策除進口雜糧作物作為生質料源外，早期係以

栽植生質作物作為直接供應源，惟近年隨著糧食自給率問題浮現，亦朝向以農業生產後的副產品（廢棄物、資源物）作為生質料源供應。

我國直接產出於地表之生質能作物及可供作料源之農業生產副產品，主要有高纖維作物（如甘蔗、狼尾草）、穀物作物（如稻米、食用玉米及硬質玉米）、油脂作物（如豆科植物等綠肥作物），前者作物係依其作物特性，藉由壓榨、澱粉酶水解等方式取得糖液，並加入酵母菌後經由發酵反應獲得生質酒精，另後者油脂作物則是藉由壓榨作物種籽取出其中所蘊含之豐富植物性油脂，利用醇解反應製成生質柴油。下述即就臺灣各縣市潛力生質料源作物及來源進行種植面積、產量及熱點區域進行分析，以瞭解各項潛在料源可供應數量及地理分布狀況。

1. 穀物作物資源盤點

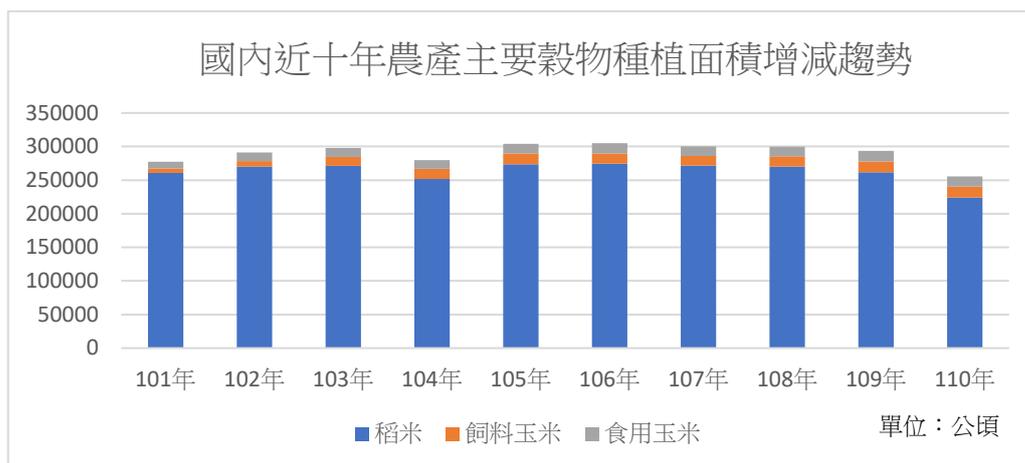
我國農業用地目前最大宗生產農產品係以稻穀為最大宗，主要係國人主要食用糧食仍以稻米為主，並配合行政院農業委員會農糧署所實施公糧濕穀收購措施，觀察下表 10 國內近十年農產主要穀物種植面積及產量統計，稻作收穫面積平均每年約有 26.2 萬公頃收穫面積，並以一期稻作種植及產量最多，而在雜糧作物方面，以玉米為國內最大宗種植之雜糧，並可區分為供應畜牧業食用的飼料玉米（硬質玉米）及國人日常飲食消費的食用玉米，並且兩者產量近年皆維持在 1.5 萬公頃收穫面積，其中又以飼料玉米成長幅度最多，在農糧署實施提高國內硬質玉米自給率以獎勵金鼓勵轉作政策下，自 101 年度至 110 年度成長 2.5 倍之多，觀察下圖 10，整體穀物種植面積無明顯消長情況，係為產量穩定之農產作物。

表 10 國內近十年農產主要穀物種植面積及產量

單位：公頃、公噸

年份	稻作收穫面積總計		稻作一期		稻作二期		飼料玉米		食用玉米	
	總面積	總產量	面積	產量	面積	產量	面積	產量	面積	產量
101	260,762	2,744,816	156,662	1,712,286	104,101	1,032,530	6,607	29,825	10,038	75,359
102	270,165	2,566,071	162,869	1,646,403	107,296	919,667	8,350	39,440	12,661	93,465
103	271,051	2,822,052	166,602	1,786,128	104,449	1,035,925	13,544	62,192	13,461	103,608
104	251,861	2,578,126	146,597	1,704,956	105,264	873,170	15,134	68,694	12,614	96,613
105	273,837	2,594,574	168,872	1,877,243	104,965	717,331	16,147	65,105	14,194	99,750
106	274,677	2,877,485	169,819	1,934,063	104,859	943,422	15,170	74,952	15,208	110,347
107	271,506	3,226,105	169,789	2,174,614	101,716	1,051,491	14,562	68,668	14,383	106,091
108	270,066	2,983,193	169,740	1,925,641	100,326	1,057,552	15,207	73,540	14,533	105,222
109	261,784	2,903,996	159,891	1,839,505	101,893	1,064,491	16,199	76,889	15,801	129,588
110	224,022	2,582,981	127,375	1,569,406	96,647	1,013,575	16,315	74,958	15,444	135,166

資料來源：行政院農業委員會（2022）、本研究整理。



資料來源：本研究分析繪製。

圖 10 國內近十年農產主要穀物種植面積增減趨勢

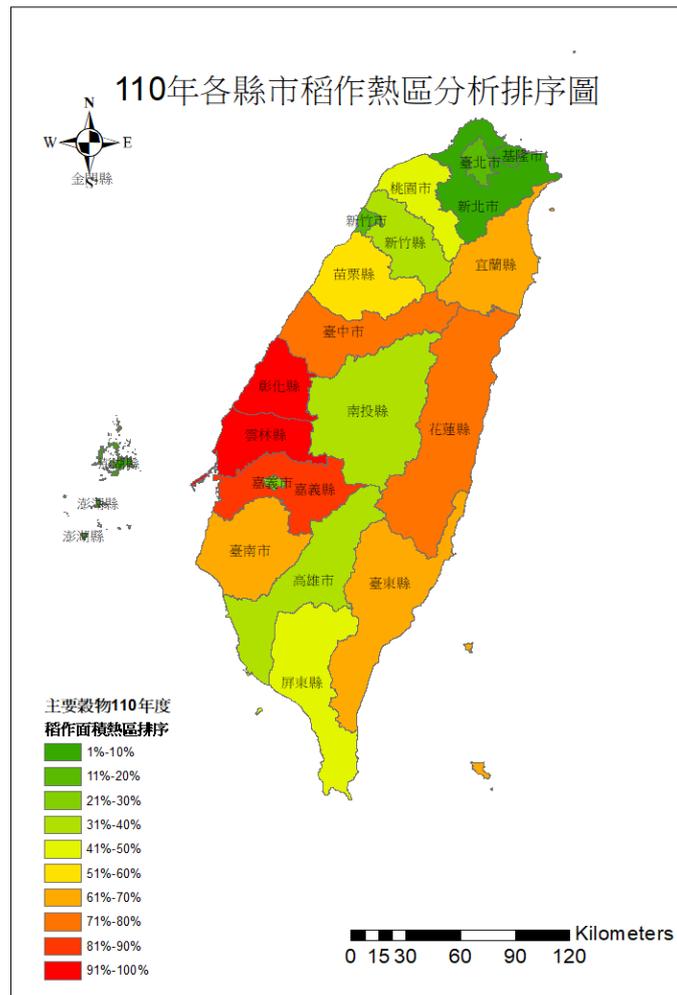
參照下表 11 在各縣市種植面積部分，飼料玉米及食用玉米以雲林縣、嘉義縣及臺南市面積、產量最多，並多採規模化方式栽植，以飼料玉米為例，其採收多以農機具進行收割，並於過程中將缺乏經濟價值之玉米桿、葉粉碎化後與田間土壤混合覆土，作為農業廢棄物處理去化方式；而在稻作方面，主要種植縣市為彰化縣、雲林縣及嘉義縣，關於稻米採集後所缺乏經濟價值之稻稈，除部分供作其他農業生產時作物表土冬天保暖或抑制雜草用途外，大多仍係以回放田間任其腐化供作肥料用途使用，即現況使用方式其稻作副產品（稻稈）加值化空間仍有相當成長空間，觀察下圖 11，以稻作數量作為熱區表現，可發現中南部縣市極具以穀物作物配合發展生質能產業所需供應料源之潛力，考量穀物作物副產品的料源供應潛力量能，應可以彰化縣、雲林縣及嘉義縣作為優先設址區域。

表 11 110 年各縣市農產主要穀物種植面積及產量

單位：公頃、公噸

縣市	稻作收穫面積總計			飼料玉米		食用玉米	
	總計	一期	二期	面積	產量	面積	產量
彰化縣	47,113	27,036	20,078	62	330	406	2,861
雲林縣	42,175	28,704	13,471	1,194	6,234	7,498	85,123
嘉義縣	22,297	10,084	12,213	5,826	27,391	1,986	11,099
花蓮縣	17,871	9,147	8,723	598	2,097	655	3,297
臺中市	16,183	5,861	10,323	1	3	261	1,538
臺南市	14,536	5,063	9,473	8,123	36,119	1,986	14,400
臺東縣	12,816	6,550	6,266	3	17	293	1,404
宜蘭縣	11,277	11,277	-	-	-	53	283
苗栗縣	8,373	3,456	4,917	1	5	251	1,802
桃園市	7,085	3,794	3,291	-	-	96	429
屏東縣	6,817	5,792	1,026	439	2,311	517	3,782
新竹縣	5,651	2,598	3,053	0	0	125	866
高雄市	5,268	4,839	428	65	437	896	5,789
南投縣	4,084	2,056	2,029	-	-	210	1,405
嘉義市	1,297	654	643	3	14	37	257
新竹市	613	133	480	-	-	16	88
臺北市	452	227	225	-	-	12	61
新北市	112	104	8	-	-	99	418
澎湖縣	-	-	-	-	-	44	256
基隆市	-	-	-	-	-	0	1
金門縣	-	-	-	-	-	1	8
連江縣	-	-	-	-	-	-	-

資料來源：行政院農業委員會（2022）、本研究整理。



資料來源：本研究分析繪製。

圖 11 110 各縣市稻作熱區分析圖

2. 高纖維作物資源盤點

有別於穀物作物多以副產品方式供作生質能產業所需料源需求，高纖維作物則屬正、副產品作為料源皆具經濟可行性之作物，並以甘蔗、盤固拉草、狼尾草及竹筍為代表。觀察下表 12 統計國內近十年農產高纖維作物種植面積及產量，可發現此類作物的種植面積長年保持固定而未有明顯消長，再以用途別區分，可分為民眾食用（製糖甘蔗、竹筍）、民生使用（竹子）及畜牧業飼養使用（盤固發

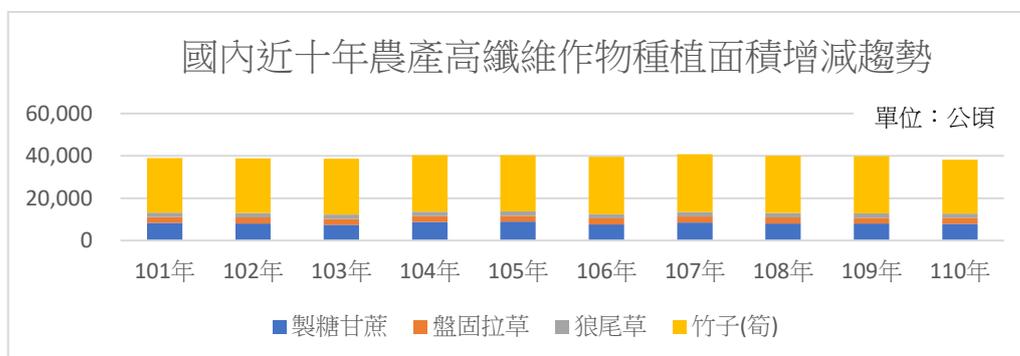
草及狼尾草)，種植面積以竹子所種最多，其次為製糖甘蔗，由於竹子(筍)多種植於山丘及山坡地，較無受限地形條件，且同時具備食用及製作竹產品等消費需求，從下圖 12 國內近十年農產高纖維作物種植面積可發現，以竹子(筍)種植所占比例最高，其次為製糖甘蔗、而盤固拉草及狼尾草定位為國內畜牧業進口芻料替代用途，少部分作為牧草汁等產品，在需求較有限下其種植數量亦有所侷限。

表 12 國內近十年農產高纖維作物種植面積及產量

單位：公頃、公噸

年份	製糖甘蔗		盤固拉草		狼尾草		竹子(筍)	
	面積	產量	面積	產量	面積	產量	面積	產量
101	8,312	548,455	2,707	171,211	2,095	306,405	25,812	278,90
102	8,085	505,526	2,763	177,983	2,110	306,896	25,825	267,09
103	7,442	502,706	2,727	183,906	2,158	318,205	26,278	277,20
104	8,764	618,264	2,767	188,808	2,134	291,842	26,659	247,44
105	8,945	526,843	2,693	178,520	2,179	284,556	26,469	239,80
106	7,586	455,144	2,824	212,628	2,079	285,088	27,048	257,89
107	8,513	578,778	2,854	209,512	2,093	284,020	27,363	250,98
108	8,086	532,569	2,812	211,300	2,051	277,259	27,151	247,95
109	7,975	530,796	2,833	217,760	2,047	286,906	27,013	236,87
110	7,962	594,724	2,756	208,528	1,984	270,355	25,486	208,20

資料來源：行政院農業委員會(2022)、本研究整理。



資料來源：本研究分析繪製。

圖 12 國內近十年農產高纖維作物種植面積增減趨勢

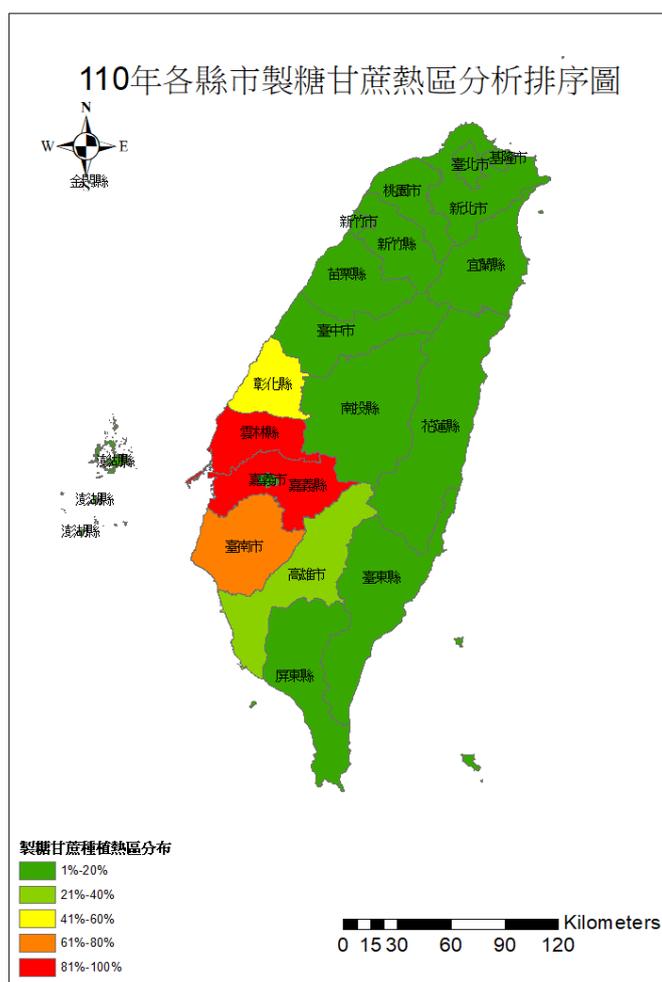
觀察國內高纖維作物最具作生質能料源使用之作物—甘蔗種植空間分布，蔗作區主要集中在濁水溪以南之縣市，並以嘉義縣、雲林縣、臺南市及彰化縣等縣市最多（如下表 13）。由於國內所產之甘蔗除少部分食用甘蔗係直接進入農產運銷市場外，製糖甘蔗仍多由台糖公司自行種植後作為砂糖生產原料，值得注意的是，自台灣加入 WTO 後對於國內整體砂糖產業造成深遠影響，在農產品國際化及自由貿易的潮流下，自產砂糖逐漸缺乏市場競爭力，爰目前台糖公司僅剩虎尾糖廠及善化糖廠仍有以國內自產製糖甘蔗為原料作生產製糖使用，且為減少原料輸送的延噸公里成本，製糖甘蔗多盡可能以糖廠所在地區為中心進行種植，故嘉義縣、雲林縣、臺南市及彰化縣等縣市所具備的高纖維作物農業資源物的供應潛力為我國較高之行政區（如下圖 13）。

表 13 110 年各縣市農產高纖維作物種植面積及產量

單位：公頃、公噸

縣市	製糖甘蔗		盤固拉草		狼尾草		竹子(筍)	
	面積	產量	面積	產量	面積	產量	面積	產量
雲林縣	2,734	216,152	-	35	266	23,287	3,702	46,738
嘉義縣	2,526	181,269	-	-	90	6,836	4,983	29,000
臺南市	1,655	126,123	219	25,388	317	64,354	3,723	32,042
彰化縣	990	67,778	585	54,256	347	52,636	301	4,337
高雄市	57	3,402	1	62	127	19,348	1,773	18,259
桃園市	-	-	568	48,010	68	7,196	606	3,161
屏東縣	-	-	578	41,631	338	43,078	338	3,861
澎湖縣	-	-	426	13,189	14	353	-	-
苗栗縣	-	-	159	6,791	19	868	2,591	21,106
臺中市	-	-	50	6,286	60	9,152	1,228	10,307
花蓮縣	-	-	40	4,047	174	26,306	722	4,060
臺東縣	-	-	50	3,680	31	3,728	230	1,434
新竹市	-	-	46	2,760	-	-	13	72
新竹縣	-	-	33	2,365	10	907	349	2,110
新北市	-	-	1	28	61	1,995	1,875	8,938
南投縣	-	-	-	-	61	10,189	2,170	14,992
金門縣	-	-	-	-	1	92	2	5
基隆市	-	-	-	-	0	17	148	675
宜蘭縣	-	-	-	-	0	13	233	4,447
臺北市	-	-	-	-	0	2	427	2,002
嘉義市	-	-	-	-	-	-	71	656
連江縣	-	-	-	-	-	-	-	-

資料來源：行政院農業委員會(2022)、本研究整理。



資料來源：本研究分析繪製。

圖 13 110 各縣市製糖甘蔗熱區分析圖

3. 綠肥作物資源盤點

同樣為可供作生質能作物的綠肥作物(如太陽麻、豆科植物及田菁等),其種植目的主要係為增加土壤中有機質含量,改善土壤物理、化學及生物特性,藉以提升土壤肥力,降低對化學肥料、農藥之依賴,同時亦兼具景觀綠化、改善農村地景、提供昆蟲棲息的生態服務功能,因此近年在行政院農業委員會農糧署自 106 年起發布「農地辦理生產環境維護措施作業規範」,配合綠色環境給付計畫政策以鼓

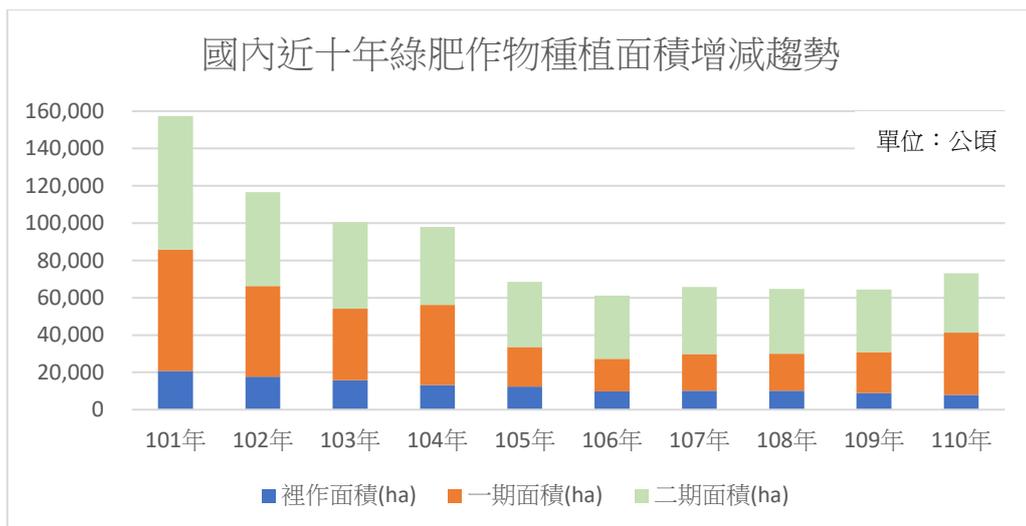
勵農地合理使用下，減緩綠肥作物種植面積逐年減少問題，各縣市亦依其氣候條件及土壤肥份需求種植適當作物，至 110 年時每年種植總面積達 7.3 萬公頃（如下表 14、圖 14）。

表 14 國內近十年綠肥作物種植面積及產量

單位：公頃、公噸

綠肥作物								
年份	總面積	總產量	裡作面積	裡作產量	一期面積	一期產量	二期面積	二期產量
101	157,321	2,757,577	20,731	349,372	65,010	1,187,150	71,580	1,221,056
102	116,550	2,087,558	17,741	290,369	48,475	861,917	50,334	935,272
103	100,464	1,797,181	15,827	255,666	38,377	705,314	46,261	836,200
104	97,875	1,699,128	13,163	210,716	42,945	758,598	41,767	729,815
105	68,577	1,269,801	12,404	195,736	21,211	425,913	34,962	648,151
106	61,079	1,112,661	9,729	156,335	17,452	341,523	33,898	614,804
107	65,793	1,185,135	10,192	161,616	19,577	376,779	36,024	646,740
108	64,815	1,139,491	10,183	157,884	19,806	383,968	34,826	597,638
109	64,316	1,134,460	8,921	137,538	21,929	406,987	33,466	589,936
110	73,066	1,259,981	7,983	127,343	33,337	585,296	31,746	547,342

資料來源：行政院農業委員會（2022）、本研究整理。



資料來源：本研究分析繪製。

圖 14 國內近十年綠肥作物種植面積增減趨勢

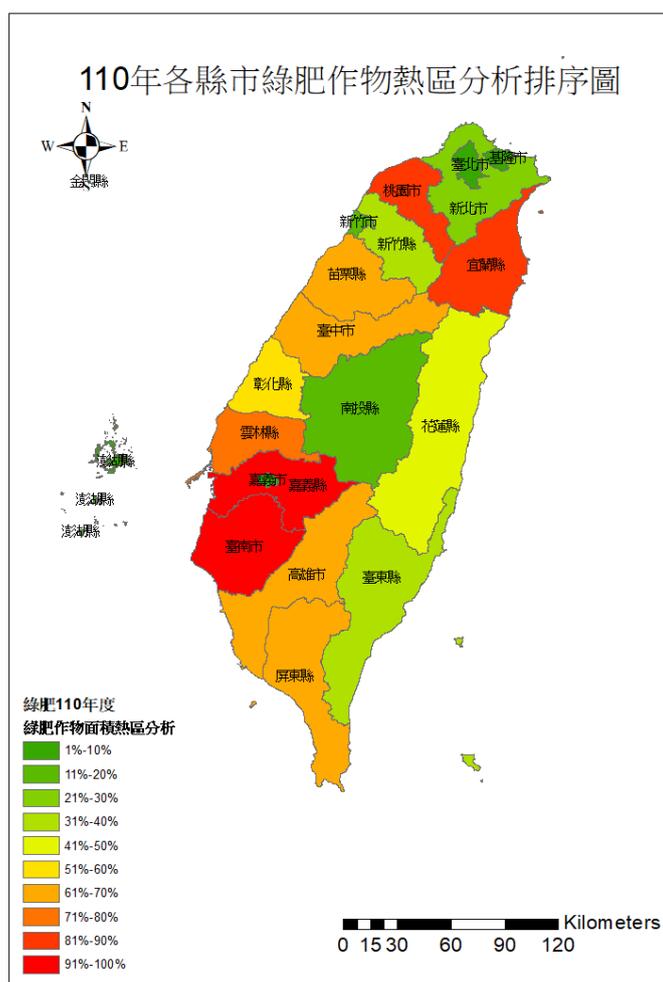
觀察下表 15 各縣市綠肥作物種植面積可發現種植以臺南市、嘉義縣及桃園市面積最多，惟宜蘭縣、高雄市雖種植面積未如桃園市多，但在總產量卻有較好之表現，推論與其綠肥作物所種植項目及各縣市農作物生長條件有關，因此觀察下圖 15 各縣市綠肥作物熱區分布，除桃園市有較明顯種植面積表現外，其他熱點縣市仍以傳統農業大縣為主，顯示如欲將綠肥作物納為生質能作物料源選項，應留意綠肥作物本身性質係為主力農作物的輔助種植關係，其種植目的係為改善土壤肥力使後續農作生產得以獲得更好收成，並且由於種植項目歧異度較多，如欲作為生質能料源選項，則須進一步了解各項綠肥作物的單位產量與面積關係。

表 15 110 年各縣市綠肥作物種植面積及產量

單位：公頃、公噸

綠肥作物								
縣市	總面積	總產量	裡作面積	裡作產量	一期面積	一期產量	二期面積	二期產量
臺南市	15,649	348,037	923	22,010	13,352	292,352	1,374	33,675
嘉義縣	12,504	185,720	775	13,184	8,219	122,576	3,510	49,960
桃園市	9,052	89,369	9	142	3,855	38,680	5,188	50,546
宜蘭縣	8,956	180,119	15	291	1	12	8,940	179,815
雲林縣	5,144	81,102	1,550	25,049	2,304	36,742	1,290	19,312
苗栗縣	3,737	72,104	432	5,858	2,460	52,709	846	13,537
高雄市	3,714	100,084	120	3,251	66	1,828	3,528	95,005
臺中市	3,619	50,822	1,217	17,286	1,170	17,062	1,232	16,474
屏東縣	3,370	50,340	59	818	98	1,380	3,213	48,143
彰化縣	2,792	49,856	1,052	17,424	195	3,885	1,545	28,548
花蓮縣	1,881	23,358	1,056	13,454	351	4,094	475	5,810
臺東縣	1,182	13,238	572	6,057	361	4,171	250	3,010
新竹縣	842	9,166	60	662	769	8,355	14	150
新北市	355	3,374	-	-	77	697	279	2,678
南投縣	141	1,876	116	1,577	12	150	13	149
新竹市	109	1,156	25	250	38	444	46	462
嘉義市	17	259	2	30	11	159	4	69
臺北市	0	1	0	1	-	-	-	-
澎湖縣	-	-	-	-	-	-	-	-
基隆市	-	-	-	-	-	-	-	-
金門縣	-	-	-	-	-	-	-	-
連江縣	-	-	-	-	-	-	-	-

資料來源：行政院農業委員會（2022）、本研究整理。



資料來源：本研究分析繪製。

圖 15 110 各縣市綠肥作物熱區分析圖

(三)國內其他可作生質料源資源盤點

隨著國人飲食習慣的改變及外送、外食文化的興起，消費後所產生的廚餘處理一直是各縣市環保單位迫切解決之問題，雖透過地方自治及廢棄物清理法將廚餘公告為資源垃圾且須加以執行回收工作。惟現階段廚餘最大去化兩項管道—生廚餘（如果皮、葉菜及動物骨頭等）作堆肥使用熟廚餘（如剩菜、剩飯及經烹飪未食用完畢的食材）及作養豬使用，仍肩負著廚餘回收處理的重責大任，其中近年來

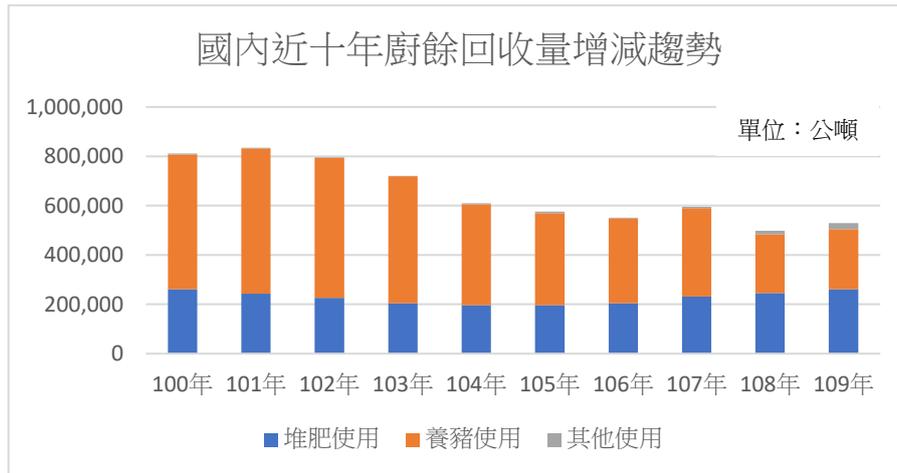
為防堵非洲豬瘟疫情在境內蔓延，環保署及農委會致力推廣禁止未加熱蒸煮之廚餘作為餵豬使用，以減緩疫情在畜牧業蔓延，在此同時，原本可採養豬使用作為廚餘去化方式的回收管道等同被限縮，觀察表 16 可發現，自 107 年起，回收廚餘作堆肥使用及養豬使用的重量，已由前者取代後者成為最大宗的回收處理方式，並且整體回收量逐年遞減（如下圖 16），而在廚餘待處理總量未能減少下，意味著廚餘回收急需以其他去化管道加以紓解。

表 16 國內近十年廚餘回收量

單位：公噸

年份	堆肥	養豬	其他	合計
100 年	261,532	545,610	4,057	811,199
101 年	243,840	588,808	1,893	834,541
102 年	226,074	567,621	1,519	795,213
103 年	204,472	514,770	1,132	720,373
104 年	197,107	408,524	4,076	609,706
105 年	197,307	372,280	6,346	575,932
106 年	204,598	343,906	2,828	551,332
107 年	231,676	358,229	5,087	594,992
108 年	246,367	237,849	13,828	498,045
109 年	261,480	243,795	24,292	529,567

資料來源：行政院主計總處（2021）、本研究整理。



資料來源：本研究分析繪製。

圖 16 國內近十年廚餘回收量增減趨勢

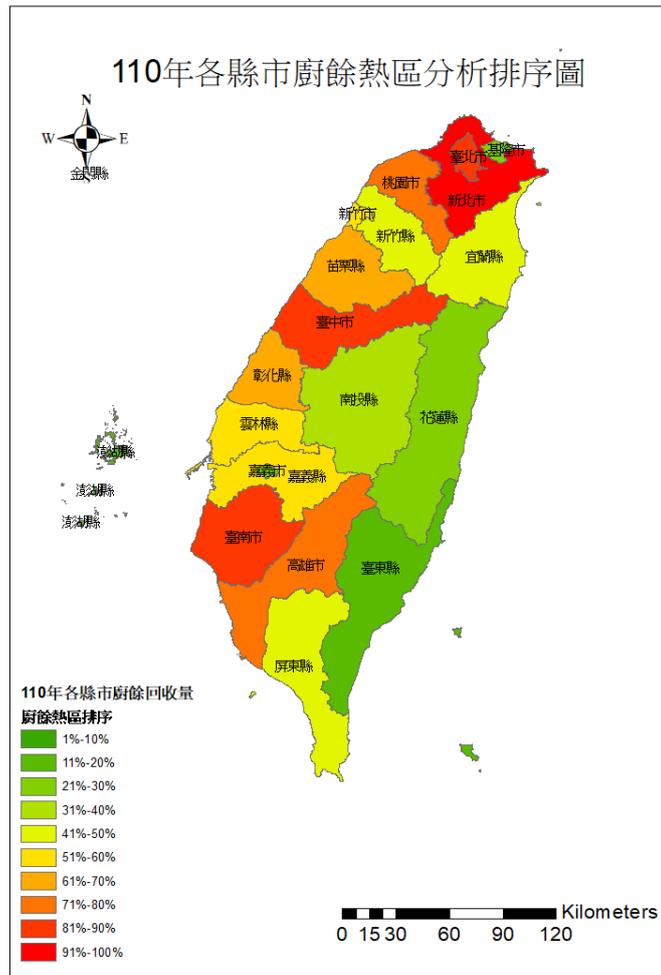
而未能以堆肥及養豬進行去化的廚餘，採焚化爐作為燃燒去化除有燃燒不完全將可能產生有毒質無戴奧辛之風險外，目前國內焚化爐所需負擔的廢棄物處理量亦皆已達上限，此時，為配合國內能源政策目標，以廚餘作為投入生質能發電之料源多有討論，目前國內有臺南市、臺中市及桃園市三座可採生、熟廚餘作為料源並以厭氧發酵方式產生甲烷進行生質能發電的生質能源廠，惟參照表 17 統計 110 年各縣市廚餘回收量可得知，廚餘產出最多縣市集中於人口最為密集之六都，如採養豬使用去化管道，最大處理/需求量能縣市為雲林縣、屏東縣及彰化縣，將產生廚餘跨縣市處理問題並於運送過程增加碳排放量，因此，考量以重點縣市新北勢、臺中市及臺南市等（下圖 17）發展廚餘生質能發電，不僅有利於國內廚餘去化問題，更可舒緩生質能發電料源短缺情況，俾推動生質能發電技術。

表 17 110 年各縣市廚餘回收量

單位：公噸

縣市	堆肥	養豬	其他	合計
新北市	89,843	37,265	13	127,122
臺中市	915	50,103	17,612	68,630
臺南市	26,463	34,953	0	61,417
臺北市	57,049	3,979	0	61,028
桃園市	6,969	26,731	2	33,703
高雄市	7,363	23,821	0	31,184
彰化縣	6,904	9,499	183	16,586
苗栗縣	7,687	8,515	22	16,225
雲林縣	13,207	0	0	13,207
嘉義縣	7,187	3,816	1,591	12,594
新竹市	2,976	9,337	0	12,313
屏東縣	1,139	9,938	1	11,078
宜蘭縣	3,682	3,034	3,108	9,824
新竹縣	3,069	6,028	0	9,098
南投縣	2,858	4,226	353	7,436
嘉義市	1,906	4,770	0	6,676
基隆市	0	6,581	0	6,581
花蓮縣	6,563	0	1	6,564
金門縣	5,159	0	137	5,296
臺東縣	2,606	1,197	1,269	5,072
澎湖縣	4,637	0	0	4,637
連江縣	3,296	0	0	3,296

資料來源：行政院主計總處（2021）、本研究整理。



資料來源：本研究分析繪製。

圖 17 110 各縣市廚餘熱區分析圖

(四)生質能潛力料源供應時序及各熱區空間分布

綜整各縣市可供作作內生質能產業運作所需之潛力料源供應量能及項目，可發現農業資源物因其作物產出時序關係，在供給面同樣面臨太陽光、風力再生能源使用，供給（日夜、季節及氣候）與需求時間未能完全銜接之間歇性問題，與燃氣燃煤發電相比在量能上仍有不少限制，爰本研究就上述整體料源時序及熱區空間分布進行歸納說明，使生質能產業能明確得知其料源供應相關時序，以作為後續

應用時得以參考俾擬定操作規劃。

1. 各項生質能潛力料源時序建議與三種燃氣應用情境

同屬於再生能源的生質能，其潛在間歇性問題不完全相同於太陽光電及風力發電受氣候因素高度相關，該重點在於對應之料源供應是否能滿足當下需求，譬如現使用各項燃料作為發電方式的發電機組（基載電力為具有發電時間長、較低成本可獲得較高發電量的核能及燃煤發電、中載電力為可隨時快速啟動的天然氣發電、尖載電力則為蒸汽渦輪及燃油發電等可瞬間發電之機組），應用於生質能發電亦須考量各項料源特性以規劃作基載、中載、尖載使用，避免過多的升、降載增加電網負擔，因此，透過上述對於各項潛力生質料源的資料蒐集及分析後，依料源特行其產出時序分類作基載、中載、尖載來源。

(1) 生質能基載情境（穀物作物、高纖維作物及綠肥作物）

此類農業生產物國內種植面積廣大，年產量穩定、且取得成本低等優點，除稻作作物因作物生長特性而有具明顯一、二期生產時期（集中於12月至2月、6月至8月）、製糖甘蔗於冬春季節外（11至4月），其餘如狼尾草、盤固拉草、竹子及綠肥作物則較無受季節及節氣等影響採收時間，並多集中於夏秋兩季（4月至10月），如下表18所示：

表 18 可供作生質能基載料源之作物產出時序

月份 料源項目		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
穀物 作物	稻作												
	食用玉米												
	飼料玉米												
高纖 維作 物	製糖甘蔗												
	盤固拉草												
	狼尾草												
	竹子												
綠肥 作物	豆科等												

註：綠色填滿月份為可供應時令

資料來源：本研究調查及整理。

值得注意的是，除產出時序有些許差異外，成本方面雖種植穀物作物的目的係為了獲得本身稻穗及穀粒，而副產品（農業資源物、廢棄物）屬額外性質，故料源生產成本可視為零，但在採集、整理部分卻需支出較高勞力成本，這部分尚有導入特用機械採集以降低勞力成本之潛力。另一方面，高纖維作物及綠肥作物雖係以農產品形式產出，但因可規模化生產，同時亦可以機具大規模採收，因而降低採集、勞力支出，並可採續根方式種質降低平均單位料源成本，因此預期在成本方面，可做為生質能基載電力之料源並未有明顯差距，主要僅差於環境效益、使用者形象及外界觀感。

(2) 生質能中載情境（家禽及家畜）

有別於作物生產須考量季節及節氣條件，養殖家禽及家畜目的係為提供作國人日常生活重要動物性蛋白質來源，除以獲得天

然孳息目的的泌乳乳牛及羊外，其餘家畜類飼養用途多提供食用為主，而雞與鴨同樣亦除了專供產蛋使用，其餘家禽類亦以食用為主，因此，在整體的禽畜糞尿產出，並無因飼養數量的變化而有明顯的變動。目前除經厭氧處理後的沼渣、沼液作為補充農地肥力的澆灌使用外，經厭氧發酵所產出沼氣作為生質能使用亦有多推廣，如可配合畜牧場糞尿集中處理加以資源化利用，家禽及家畜飼養過程所排放之禽畜糞，應具有肩負生質能發電時，供作中載料源使用之潛力。

(3) 生質能尖載情境（廚餘）

而相較稻作作物及家禽家畜具有供應量大且易於掌握之優點，雖行政院環境保護署為減少環境髒亂及垃圾處理負擔，自2003年開始推動廚餘回收，惟現況在回收管理方面，仍有未能全面落实回收問題存在，如混雜家用垃圾棄置、生熟廚餘未確實分類等，使得目前各縣市雖積極針對廚餘進行回收處理，卻同時存在缺乏去化管道及過度集中於人口較密集之六都的問題亟待紓解。因此，在回收（取得）成本較高，且料源來源穩定度較低下，本研究建議有關廚餘應用於生質能料源用途，尚缺乏執行效益，應排除定位於基載及中載料源使用，暫定位在尖載料源作為廚餘項目應用於生質能發電，待國內廚餘回收系統得獲得較為穩定之處理量時，再就其定位於尖載料源時之執行可行性加以評估。

生質低碳燃氣之新興循環經濟模式須建立於跨產業鏈、新循環體系上，以產生更多的價值與新型態的效益，具體而言分別有經濟效益、環境效益、以及料源供給安全三個面向，而這些價值係透過系統中各種多樣化的循環與效率提升來體現。故過往僅將

生質能產業分作上中下游的評估模式，實已難完整呈現循環經濟體的系統全貌，有必要研擬新的研究方法進行評估分析。本計畫除關注除農業資源如何獲得適當再利用外，更針對可供作生質低碳燃氣應用之料源供給進行量能盤查及時序調查，以滿足後續營運模式建立時得有供給面分析作為支撐。

三、國內生質燃氣營運商業模式規劃

參考上述兩個國外案例分析步驟並考慮我國對再生能源的需求持續增加，可建立我國生質燃氣可行之新興商業之決策樹，如圖 18：

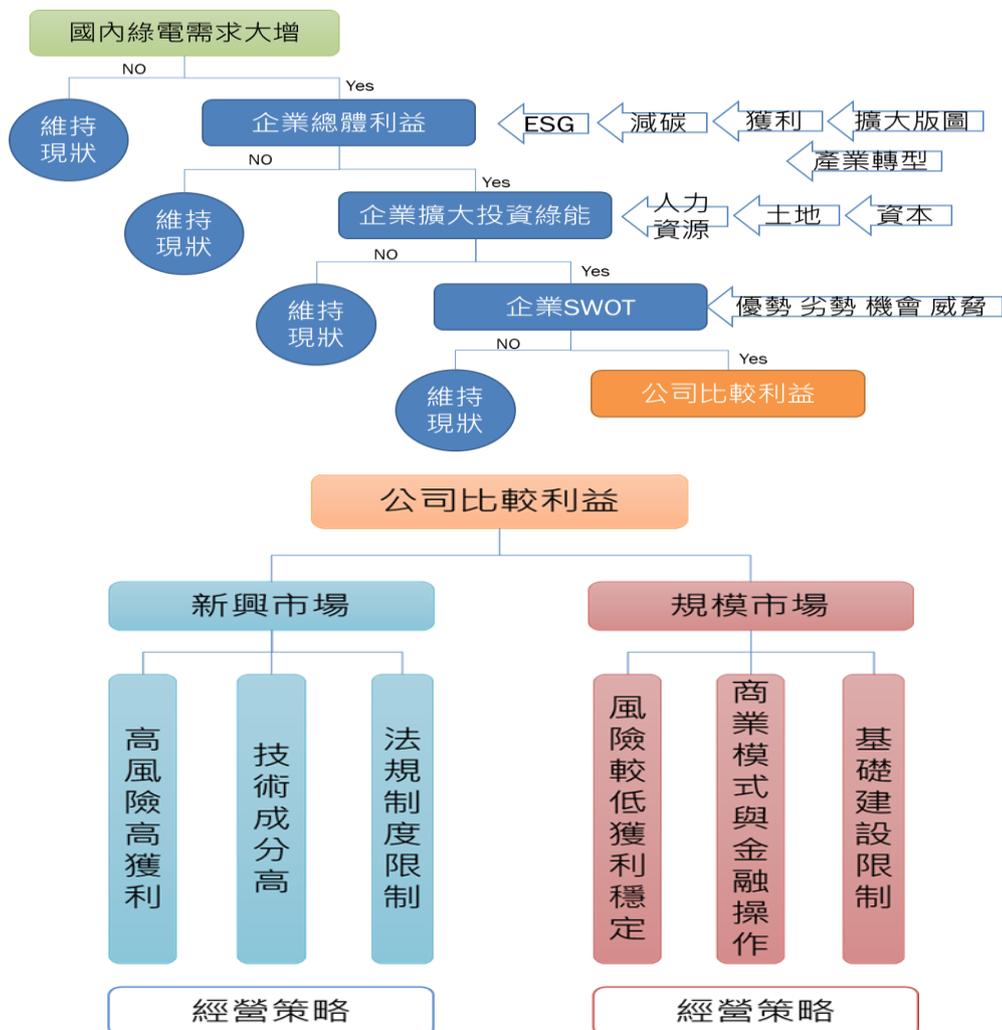


圖 18 投資生質燃氣決策樹

在規模市場方面，即為一般常見的生質燃氣發電後自用或躉售給台電，其所能創造之利潤以十分確定，且市場有限。其主要獲利在於持續的降低成本。

在新興市場方面，本研究考慮到生質燃氣可調節與可轉氫的特性，提出了以下三種商業概念：

1. 基於產業鏈需要或是減排承諾，國內越來越多企業需要達成 100%綠電的目標，這時生質燃氣搭配中小型燃氣輪機操作，可用以彌補太陽光電與風電的間歇性之缺口，擔任綠電扶助服務之角色。由於其特有的可調度性，所以具備更高的時間價值，可爭取比台電躉購更高的價格。
2. 依照大用戶條款，被規範之用電戶除在自有廠區或建築裝設綠電設備外，亦可在場區外進行相關投資。利用此規定並結合多種再生能源，建立一區域再生能源中心，如圖 19，以生質燃氣+儲能設備做為儲備核心（鋰電池為短期、生質燃氣為中期、氫為長期）擴大綠電可調度能力，創造規模經濟並將綠電分配給最需要的人。在此園區內，各類綠電價格是公開的，設備建造費用以募資的方式獲得，產生的電能以標售的方式，利潤則依投資比例分潤，徹底實現綠電交易自由化的形式。

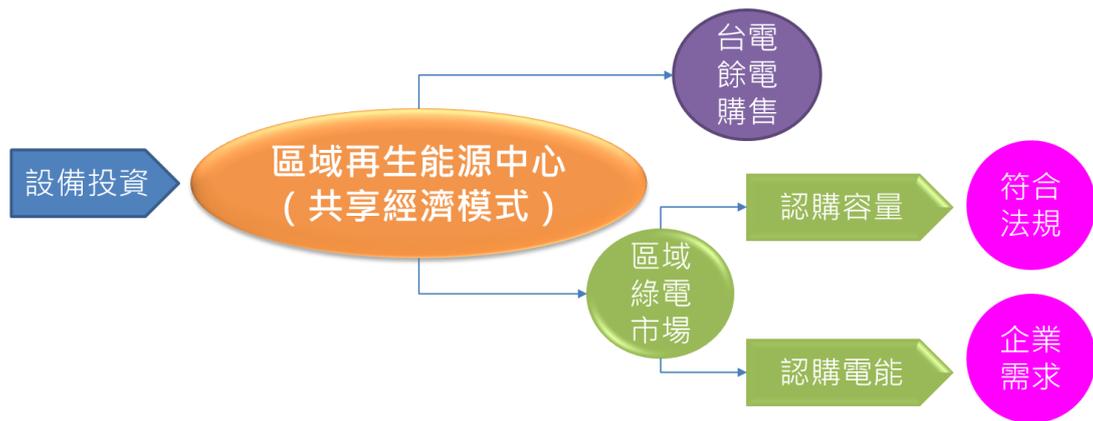


圖 19 區域再生能源中心

3. 目前多數工業用氫皆來自天然氣。生質燃氣基本成分與天然氣十分類似，同樣可作為生產氫的原料，且其可被視為低碳氫或綠氫。若是可結合上述再生能源合作園區的概念，不僅可將多餘之再生能源用來產氫，也可搭配生質燃氣產生的氫作為銷售，大大增加產品的彈性與獲益。由於氫的跨國長途運輸有其困難度，故未來本土綠氫仍有相當的需求與發展空間。
4. 從碳權的角度來看：生質能若要獲得碳權必須滿足額外性之要求。例如若是大用戶為滿足政府法令所做的投資，並不能獲得碳權。此時若是可透過上述園區，利用規模經濟不僅將可降低單位投資，也可以獲得額外之碳權。又因為在採購中蓋買了相對昂貴之生質燃氣電力，也有助於碳權的取得與電能的保障。將綠氫引進生產線，目前並無法規要求，具有顯著的額外性，這對於生質燃氣的利用創造了新的附加價值。

參、主要發現與結論

如何讓農業獲得永續經營、利用，已然成為面向廣泛之議題。若以國家尺度將循環經濟及農業議題結合，即是以嶄新的思維及策略，將該國所擁有的資源稟賦、人口、環境、社會進行協調、透過互補方式達成農業與經濟成長方式。如強化農業生態系統與產業結構，提高農業系統物質能量的循環利用層級，使其獲得充分利用，藉由再利用方式減少新物質之投入，以達減輕對環境及生態之負擔。

農業循環經濟涵蓋面向眾多，若以生質能做為實踐循環經濟作為，盤點國內現有農、林、漁資源，以農業資源物中纖維生質物能見度最高，該料源主要係以稻米、玉米、甘蔗等農業廢棄物為潛力生質料源，此外亦有竹子及狼尾草等非農業廢棄物之纖維生質物來源。本團隊初步以上述稻米、玉米、甘蔗等農業廢棄物，於具數量優勢之嘉南地區進行盤查分析，參考農委會農糧署資料（2018），以縣市行政區進行觀察，嘉義縣市潛力生質料源約有 239 萬 2,998 噸/年，台南市潛力生質料源則為 229 萬 2,571 噸/年，總計約為 468 萬 5,569 噸/年，且主要集中在嘉義縣中埔鄉、民雄鄉、溪口鄉、臺南市白河區、安定區、柳營區等地區。以料源種類來看，蔗渣數量約 420 萬 909 噸/年最大宗，占總量 90%，其次為稻稈 292 萬 7,562 噸/年，及玉米桿 191 萬 9,052 噸/年。

本研究團隊運用地理資訊系統（Geographic Information System，GIS）將生質料源依種植區位及各料源產地、農業作物類別、產量進行分類，同時，將針對國內林業資源調查，以地理資訊系統進行空間分析，評估可供作為生質燃氣的林業資源主要分布地區，並提出料源集運的經濟可行性評估。由於以農業廢棄物與其他化石能源衍生產

品特性相異，其中最大的差別即是各項農業廢棄物所能供應得季節時序不盡相同，並非隨時皆能供應需求者之需要，故本團隊針對上述預計盤點之料源，評估合適探討標的，進行時序與可供應數量推估。

由於產出生質低碳燃氣的新興循環經濟模式須建立於跨產業鏈、新循環體系上，以產生更多的價值與新型態的效益，具體而言分別有經濟效益、環境效益、以及料源供給安全三個面向，而這些價值係透過系統中各種多樣化的循環與效率提升來體現。故過往僅將產業鍊分作上中下游的評估模式，實已難完整呈現循環經濟體的系統全貌，有必要研擬新的研究方法進行評估分析，而本計畫所關注除農業資源如何獲得適當再利用外，其後續如何建立起實際起運作之營運模式，做為生質低碳燃氣應用之方向，應為計畫所關注之重點議題，本團隊已透過蒐研文獻回顧及歸納方式及結合地理資訊系統分析，研擬策略規劃，做為後續推動生質低碳燃氣策略之基礎。

此外，基於風險趨避原則及更全面使農業資源得採低碳燃氣作為循環經濟之實踐，本計畫主要除重點關注以農、林、漁領域為主料源之生質燃氣進行料源集運之經濟可行性為首要評估外，由於多元化物料來源有助於單一物料如面臨之價格波動時，得對於潛在成本風險加以控管並降低供給面的不確定性，爰預計將探討其他可供作生質低碳燃氣之料源，如畜禽廢水結合農業廢棄物、解聚技術高溫蒸煮廚餘技術應用於樹枝、落葉等有機資源物去化，俾探討各項生質低碳燃氣應用潛力情境。

本計畫針對可供作生質能發電所需之料源項目及潛在供應量能進行空間分析，發現無論總產量或是產業聚集而言，彰化、雲林、嘉義縣在各項需求料源的分布上具有高度空間聚集，另亦位處臺灣本

島中間縣市，具有地理位置及運輸成本優勢，建議規劃生質低碳燃氣應用模式及生質能產業設址地點時，應可就上開縣市為優先設址考量區域。

本計畫為提升臺灣電網韌性及改善能源結構，除發展分散式電力係迫切議題外，在電力能源開發及電網建設亦須考量是否得滿足未來用電需求，考量風險趨避及如何以農業資源作為循環經濟之實踐，發展生質低碳燃氣應用模式除重點關注以農、林、漁領域為主料源之生質燃氣進行料源集運之經濟可行性為首要評估外，多元化物料來源有助於單一物料如面臨之價格波動時，得對於潛在成本風險加以控管並降低供給面的不確定性。基於料源潛在供應量能及時序，建議生質低碳燃氣之應用可採直接栽植於土壤的農業生產物（穀物作物、高纖維作物及綠肥作物）作為基載料源、家禽及家畜排遺物直作為中載料源，而廚餘作生質低碳燃氣應用之料源規劃，建議待國內廚餘回收系統得獲得較為穩定之處理量時，再就其定位於尖載料源時之執行可行性加以評估。而採搭配方式作為生質料源使用方面，如以畜禽廢水結合農業資源物、解聚技術高溫蒸煮廚餘技術應用於樹枝、落葉等資源物去化，雖現階段仍囿於料源集運可行性而尚未具執行效益，惟基於料源供應多元化因素，後續亦可納入生質低碳燃氣應用潛力情境考量。

在生質燃氣使用方面，一般最保守之方式可採躉購電價方式，目前獲利仍高於碳權買賣。但若未來國內再生能源市場變化與氫經濟發展後，24 小時綠電或是綠氫需求將更具市場價值。故在今日生產方面可考慮引進多聯產的方式，以增加生質燃氣彈性，來因應市場變化做最有效之搭配。

本次研究針對不同用戶需求，為生質燃氣提出了 3 種新興商業模式，從綠色備用電力、區域再生能源中心、生質燃氣綠氫園區。除了規模差異外，也涵蓋配合國家短中長期之能源發展政策，若可盡早佈局，將有助於企業持續之獲利並促進產業升級。

肆、參考文獻

1. 蕭代基、吳珮瑛、鄭蕙燕、錢玉蘭、溫麗琪 (2002)，環境保護之成本效益分析-理論、方法與應用，臺北：俊傑書局。
2. 劉軼整，黃濤，彭道平 (2020)，德國彈性沼氣生產技術及其對中國生物質能利用的啟示，四川環境，P.186~192。
3. 周偉偉 (2021)，沼氣制氫技術研究，化工管理，P.184~190。
4. 邱韶峰，王明磊，梁磊，趙大慶，畢武 (2021)，大型奶牛場沼氣發電工程能源利用效率及經濟社會效益實例分析，中國牛奶，11：P.49~54。
5. 甘福丁、唐健、王會利、宋賢沖、覃其雲、鄧小軍、曹繼釗 (2021)，「碳中和」目標下農村沼氣工程發展機遇與對策，現代農業科技，17：157~160。
6. 鐘卓玲、王家遠、范成、喻博 (2019)，太陽能集中式沼氣系統在新農村的應用研究，建築節能，345：P.91~96。
7. IEA Data and statistics, <https://www.iea.org/data-and-statistics/datatables?country=WORLD>。
8. Li H., Zhu H., Dai N., et al, Multi—energy Coordinated Optimization for both Supply and Demand Sides of Energy Internet System[J]. Journal of Electrical Systems, 2018, 14(2)：77-87.
9. Markard J., The next phase of the energy transition and its implications for research and policy[J], Namre Energy, 2018, 3(8)：628.
10. Bierer B., Kress P., Nagele H. J., et al, Investigating flexible feeding effects on the biogas quality in full-scale anaerobic digestion by high resolution, photoacoustic—based NDIR sensing[J]. Engineering in

- Life Sciences, 2019 : 1-11.
11. Ien S., Hansen J., Drewes J. E., et al, BioTOOL—a Readily and Flexible Biogas Rate Prediction Tool for End—users[J]. Environmental Modeling&Assessment, 2019, 24(1) : 87-94.
 12. Lauer M., Thran D., Biogas plants and surplus generation : Cost driver or reducer in the future German electricity system?[J]. Energy Policy, 2017, 109 : 324-336.