

本月專題

我國生質能源供應和推廣政策概述

陳安菲¹

摘要

為減少對化石能源與進口能源的依存，政府近年來積極地推動本土再生能源發展，同時建立相關能源政策及獎勵措施。其中，由於生質能可於轉換過程中，產生不同的型態，使其更容易應用於現有的能源系統中，滿足各種需要能源轉型的領域，因此在實現減少溫室氣體排放中，有不可替代地位。因此，本研究綜整國際生質能發展趨勢，顯示發展生質能的重要性和必要性，並透過彙整我國生質能來源之統計數據與相關政策，以及生質能發展可能面臨之挑戰等議題，提出促進我國生質能源的相關建議。

一、生質能之國際發展趨勢

截至目前為止(2023 年 12 月 25 日)，有 160 個國家宣布實現淨零排放，其中 42 個國家(歐盟占 15 個)已將實踐淨零目標入法²。由於各國的淨零策略均為提升電力部門的再生能源發展為主，故我國自 2016 年開始，積極推動能源轉型，以潔淨能源發展方向為規劃原則，於 2021 年世界地球日(4 月 22 日)宣示 2050 淨零目標後，便致力推動淨零減碳政策。2022 年國發會提出 2050 年實零碳排放的政策目標，並於今(2023)年 2 月業經總統公布施行《氣候變遷因應法》，正式將 2050 淨零排放目標入法。

根據國際再生能源總署(The International Renewable Energy Agency, IRENA)報告，2050 年全球能源消耗的電氣化比例將大幅成長，因此與 2018 年相比，2050 年的全球電力需求預計將翻倍增加³。對於無法實現電氣化且高排放之產業(如石化、鋼鐵、水泥等)，由於其製程主要依賴化石燃料，為

¹ 財團法人台灣綜合研究院副研究員

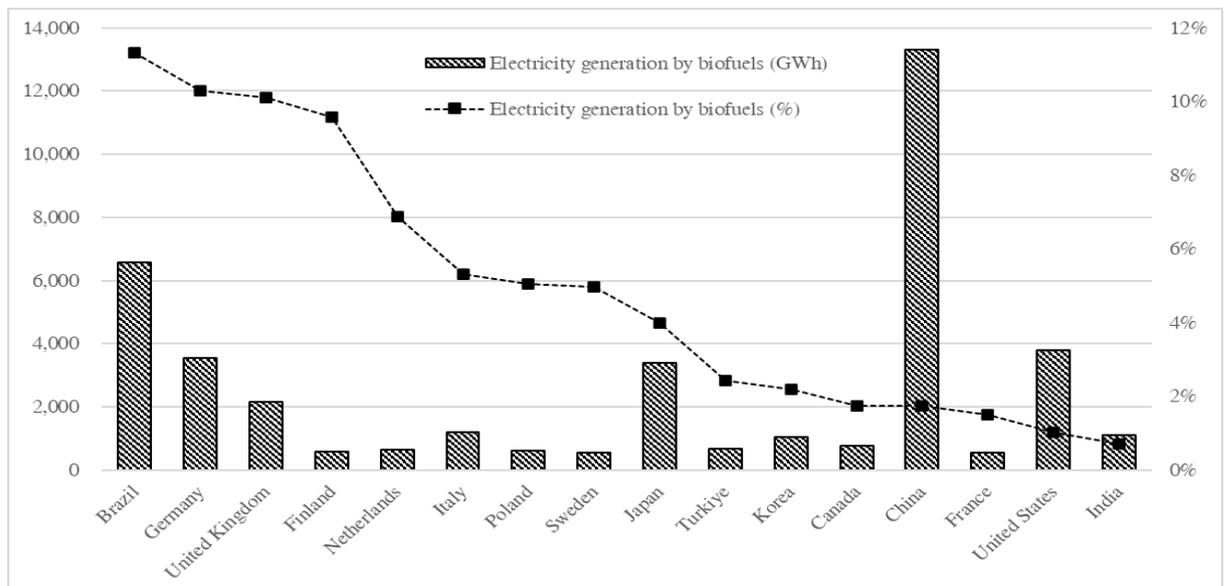
² Energy & Climate Intelligence Unit, <https://eciu.net/netzerotracker>

³ IRENA. World Energy Transition Outlook: 1.5°C Pathway; 2021.

達到永續轉型，需要迫切的引入低碳能源，如短期使用二氧化碳排放相對較低的化石燃料(如天然氣)，中長期則可使用氫氣、氨氣或生質能(biomass)。

其中，生質能是人類利用歷史最悠久的能源之一，但由於各國產業發展及相關政策的差異，生質能的發展受到不同程度的重視。然而，IRENA 指出，在實現 1.5°C 情境下，生質能將扮演關鍵角色，預估到 2050 年現代生質能(modern biomass)將占最終能源消耗的 16%(氫能為 14%)。因此，各國在面對能源轉型時，有必要重新評估生質能的發展，以確保能有效利用。

生質燃料(Biofuels)是由生質能透過物理、化學或生物反應生成，具氣體、液體和固體三種型態，包含沼氣(biogas)、生質酒精(bioethanol)、生質液化石油氣(bio-liquefied oil and syngas)、垃圾填埋氣(landfill gas)、生質柴油(biodiesel)、生質重油(bio-heavy oil)、木屑/木片(wood pellets/chips)、木炭(charcoal)以及生物固體回收燃料(bio-solid refused fuel, Bio-SRF)⁴。由於生質能轉換過程具備不同型態，使其更容易應用於現有的能源系統，以滿足各種需要能源轉型的領域，如發電、供熱和交通運輸等。此外，生質能是唯一一種可以透過現有化石燃料基礎設施進行運輸、儲存和使用的再生能源，且不會受到間歇性供電問題的困擾。這使其在無法進行電氣化的工業和交通領域(如飛機和船舶)中，在實現減少溫室氣體排放中，有不可替代地位⁵。



註：僅顯示生質燃料發電量大於 500 GWh 之國家

圖 1 各國使用生質燃料產生電力

⁴ Han GS. Trend and outlook of wood pellet industry. *Prospectives Ind Chem* 2012; 15:54–61.

⁵ Kim JK. The status of sustainable biofuels policy and development. *Prospectives Ind Chem* 2013;16:1–15.

圖 1 顯示了世界各國使用生質燃料產生電力之排序(統計至 2023 年 9 月)，其中巴西、德國及英國使用生質燃料發電的比例最高。德國在 2010 年宣布淘汰核能，當時仰賴使用燃煤的發電的比例達到 43%，其次為核能(22%)、燃氣(14%)、風力和太陽能(8%)及生質能(5%)。然而到 2022 年，風力和太陽能發電占比已超燃煤(31%比 30%)，其次為燃氣(13%)、生質能(8%)及核能(6%)。由於台灣過去的能源結構和未來的能源政策與德國相似，因此可以參考德國在能源結構上的新變化以獲得啟發⁶。

在實踐淨零的目標時，需同時考量未來能源需求的成長，除必要減少化石燃料的使用，並積極發展風力和太陽能，以符合能源需求，亦有必要利用電力部門的既有設施提供清潔安全的能源。值得注意的是，許多歐盟國家正積極嘗試利用既有燃煤電廠從化石燃料轉向生質燃料，如英國的 Drax 電廠成功的將化石燃料替換為生質燃料以減少二氧化碳排放。Drax 電廠擁有六座 650 MW 的燃煤鍋爐，目前已有 4 座已改造為生質燃燒鍋爐，其排放量減少大約 80%。另外，有許多歐洲的大型電廠使用木質材料(森林和農業副產品)作為生質燃料，包括芬蘭 Alholmens Kraft (265 MW)、波蘭 Polaniec (205 MW)及燃燒稻草的丹麥 Avedøre 2 (100 MW)⁷。

台灣依賴進口能源的比例達 97.3% (2022 年)，主要為高溫室氣體排放的化石燃料，顯示我國自產能源缺乏。為了減少對進口能源的依賴以及減緩溫室氣體排放，我國政府積極的推動再生能源的開發，以增加國內能源供應，其中包含較少引起土地爭議的生質發電及其熱能供應。以熱電聯產(或稱汽電共生)設施的改造為例⁸，城市固體廢棄物(MSW)的發電量自 2005 年至 2021 年增長了 18%。此外，透過投入有機燃料，如漂流木、果皮和道路樹枝等，更提高了整體能源效率，從 2011 年的 16.7%增長至 2021 年的 18.4%。因此，利用當地生物質或木質廢棄物作為生質燃料，對於實現能源供應多樣化和減少碳排放的目標具有顯著幫助。

本土能源多樣化的供應對我國的能源轉型相當重要，同時也是全球許多國家發展生質能源的重要課題。本研究整合了我國生質能源的供應現況及相對應之法規，並參考相關國際情況，提出促進生質能源的相關政策之建議。

⁶ IEA, Monthly Electricity Statistics, <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/monthly-electricity-statistics>.

⁷ Z. Akyürek, A. Güngör Emission Assessment of Agro-Waste Combustion Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 27 (2021), pp. 1-5.

⁸ 經濟部能源署，能源統計年報

二、台灣生質能之現況發展

(一) 農業廢棄物產生情形

一般而言，農業廢棄物(agricultural waste)可定義為由農業活動產生的不需要的廢棄物或殘留物。依表 1 彙整的統計數據，80%的農業廢棄物(生物性)來自「稻蒿」、「牡蠣殼」及「禽畜」產生的廢棄物。此外，為了擴大本地農業廢棄物的供應，自 2020 年起開始納入「果樹枝條」及「竹筍園剩餘殘體」在農業廢棄物統計項目中。長期以來，政府對農業廢棄物的處理有著極高的妥善比例，各項目的處理比例幾近 100%。其中，處理方式主要包括就地翻耕掩埋(約 35%)和堆肥處理(約 50%)，僅有大約 2%作為薪材或燃料使用。

表 1 國內近 5 年(2018-2022)生物性農業廢棄物之產生量統計(公噸)⁹

項目	2018	2019	2020	2021	2022
農產廢棄物	2,495,628	2,292,389	2,676,130	2,460,717	2,462,057
稻殼	389,959	358,242	350,146	312,174	315,155
稻蒿	1,949,796	1,791,211	1,750,729	1,560,870	1,575,777
廢棄菇包	155,873	142,935	156,487	175,975	153,349
果樹枝條	-	-	247,396	248,282	255,840
竹筍園剩餘殘體	-	-	171,372	163,416	161,935
漁產廢棄物(牡蠣殼)	1,949,796	1,791,211	118,734	99,312	107,724
畜產廢棄物	2,362,121	2,337,559	2,397,497	2,369,246	2,357,113
禽畜糞	2,255,423	2,227,532	2,272,454	2,265,234	2,251,686
畜禽屠宰後廢棄物	61,271	64,410	78,274	56,437	57,242
死廢畜禽	45,427	45,617	46,769	47,575	48,184
批發市場廢棄物	31,703	25,099	23,512	21,189	30,141
食品加工廢棄物	32,515	14,610	17,535	16,560	16,560
總計	5,050,541	4,786,009	5,233,408	4,967,023	4,973,594

(二) 生質能源發展現況

根據「再生能源發展條例(112.06.21)」¹⁰定義，生質能指農林植物、沼氣及國內有機廢棄物直接利用或經處理所產生之能源。除了農業廢棄物外，木材等木質纖維素資源可能是最主要的生質能源來源。其他來源包括油質藻類、廢食用油、廚餘以及非危險性工業廢物的有機成分，例如甘蔗渣和木漿黑液。這些資源可用於製造各種能源形式，例如生質燃料(如生質柴油和生質乙醇)、

⁹ 農業統計資料查詢，<https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx>

¹⁰ 經濟部，再生能源發展條例，民國 112 年 06 月 21 日

熱能(或蒸汽)和電力。

圖 2 顯示近年台灣生質燃料的統計數據¹¹，其中，氣態生質能(主要為沼氣)來源大部分為自產。自 2020 年以來氣態生質能明顯增加，主要因為政府自 2016 年開始推動能源轉型，中大型沼氣工程建設陸續完工；固態生質能主要來自本土資源(占 95%至 100%)，只有進口少量用於工業鍋爐的棕櫚殼，然而由於近年來從東南亞國家進口棕櫚殼的價格大幅增加，至 2021 年後幾乎已無進口；氣態生質能無論是自產或是進口量均低於 100 公秉油當量，其中，自產量從 2018 年的 56 公噸下降至 2022 年的 6 公噸，而進口量從 71 公噸下降至 43 公噸。進口的氣態生質能主要用於提供車輛用油的 E3 乙醇汽油，然而因生質汽油的便利性不高，且缺乏足夠的獎勵，乙醇汽油供應量呈明顯下降趨勢。

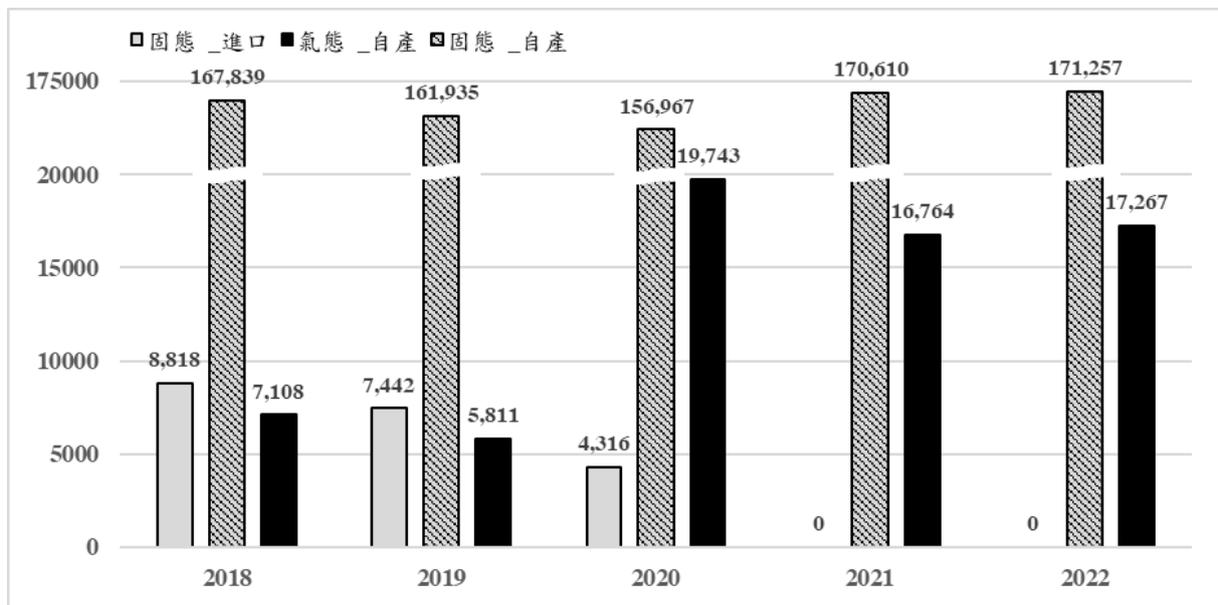


圖 2 我國生質燃料統計資料

三、我國推動生質能政策

(一) 經濟部能源署

2017 年 4 月，政府依據「能源管理法」完成「能源發展綱領」，聚焦於四個核心價值，能源安全、綠色經濟、環境永續與社會公平，以實現 2025 年再生能源發電量達 20%之目標。在這些指導原則中，最重要的策略為擴大再生能源的設置、加強對綠色(或低碳)能源發展的激勵措施、建立有利於再

¹¹ 環境部，公私場所固定污染源燃料混燒比例及成分標準，民國 109 年 03 月 23 日。

生能源發展的環境，並兼顧環境和生態保護。該綱領亦鼓勵布建分散電源設置，促進助區域供需均衡，加速再生能源發展，其中即包含生質能源，如沼氣發電和生質發電。後續亦陸續公布目標政策及執行方式，如「能源轉型白皮書(2020.11)」、「能源轉型關鍵指標(2021.06)」、「十二項關鍵戰略(2022.12)」等，其中，生質能發展更是列入關鍵戰略之前瞻能源之一，政府將生質能 2025 年目標訂為 778 MW(基準年 2021 年為 716 MW)。

(二) 農業部

農業部門對於減少溫室氣體排放具有重要貢獻，特別是甲烷(CH₄)和氧化亞氮(N₂O)，另外自政府推動能源轉型政策以來，農業部即開始推動綠色能源(如沼氣發電及農地光電等)和循環經濟，近期更是著重於推動氣態生質能(沼氣)發電和農業廢棄物轉為燃料之政策，並與其他部會共同提供相關補助辦法，以此提高誘因。另一方面，廢木材亦為重要的生質能發電的重要材料，因此，政府亦鼓勵將廢木材再利用(如木屑、漂流木、樹枝或和用過的菇類堆肥等)，作為固體燃料或緻密化生質燃料(densified biomass fuels, DBF)之原料。

(三) 環境部

廢棄物燃料化(Waste to Fuel)為廢棄物轉製能源(Waste-to Energy, WtE)方法之一，國際上許多國家已將 WtE 列為循環經濟政策，此方法不僅可減輕廢物管理的環境負擔，並附帶綠色能源(電力或熱能)效益，及減緩處置場所的溫室氣體排放。環境部自 2017 年開始執行「多元化垃圾處理計畫」，推動廢物轉能源政策，包含固體再生燃料(Solid Recovered Fuels, SRF)、廚餘轉製生質燃料，以及將廚餘經過生物處理後，產生生物氣體發電等。其中，SRF 為廢棄物衍生燃料(Refuse-Derived Fuels, RDF)經國際標轉進行生產之產品，具備高熱值和硫含量低特點，於工業鍋爐燃燒中被廣泛應用。依「公私場所固定污染源燃料混燒比例及成分標準(2020.03.23)」之規定，初級固體生質為未經化學處理、膠合或表面塗裝程序之農林植物、木材及其殘留物，其作為燃料之標準如表 2 所示。

另外，為擴大生質燃料之使用，於 2023 年提出修正草案，以資源再利用之角度，整併名稱為「資源循環燃料」，並將廢棄物分成三個等級，分別為等級一 固態生質燃料、等級二固體再生燃料(SRF)、等級三非等級一或等級

二之廢棄物再利用燃料。其中，等級一之原料檢測為依經濟部公告 ISO/CNS17225-6「分級非木質顆粒」標準，另為增加業者使用等級一燃料之誘因，政府將增加使用 CNS17225-2「分級木質顆粒」，並持續評估使用等級一燃料之重金屬及戴奧辛無須定檢¹²。

表 3 進一步列出近年我國事業廢棄物產生量，顯示廢木材(R-0701)產量明顯增加，其可能原因為政府積極推動綠能政策，廢木材混合物(D-0799)的產生量有逐年減少之趨勢，且自 2022 年起廢木材混合物亦開始進行再利用。

表 2 初級固體生質燃料之成分規定¹³

項目	限制	單位	Sample Basis
低位發熱量	≥ 3,000	kcal/kg	濕基
含氮量	≤ 0.1	wt%	乾基
含硫量	≤ 0.05	wt%	乾基
含鉛量	≤ 20	mg/kg	乾基
含鎘量	≤ 1	mg/kg	乾基
含汞量	≤ 0.1	mg/kg	乾基

表 3 各事業廢棄物生產量(公噸)¹⁴

代號	廢棄物名稱(公噸)	2018	2019	2020	2021	2022
R-0102	蔗渣	14,870	15,993	19,718	23,554	19,065
R-0105	廢酒糟、酒粕、酒精醪	142,029	127,453	103,198	128,616	136,347
R-0106	廚餘	64,792	70,211	73,549	66,169	72,935
R-0119	動物性廢渣	36,264	46,400	48,508	54,684	57,747
R-0120	植物性廢渣	42,607	51,039	59,699	67,178	68,010
R-0404	廢白土	6,188	6,670	6,145	5,626	5,831
R-0405	廢矽藻土	5,395	6,039	5,938	6,755	5,737
R-0701	廢木材	65,932	64,329	71,922	96,919	107,400
R-0901	製糖濾泥	17,138	21,308	23,074	23,156	22,277
R-0902	食品加工污泥	62,423	65,370	49,996	63,499	64,942
R-0903	釀酒污泥	13,598	12,546	10,577	9,443	8,136
R-0904	漿紙污泥	413,723	398,836	402,126	462,711	448,896
R-0906	紡織污泥	45,264	53,837	53,734	61,243	52,788
R-1702	廢食用油	15,853	15,864	15,558	14,502	13,868

資料來源：環境部，資源循環署事業廢棄物申報及管理系統/統計資料(年報)/各項報表/各事業廢棄物代碼申報流向

¹² 環境部，預告「公私場所固定污染源燃料混燒比例及成分標準」、「公私場所固定污染源應符合混燒比例及成分標準之燃料」及「鍋爐空氣污染物排放標準」修正草案，民國 112 年 07 月 24 日。

¹³ 經濟部能源署，能源平衡表，<https://www.esist.org.tw/database/search/ebs>

¹⁴ 環境部，資源循環署事業廢棄物申報及管理系統 <https://waste.moenv.gov.tw/RWD/Statistics/?page=Year1>

四、我國生質能管制及獎勵措施

儘管使用生質燃料具有許多優點，例如碳中和、減少廢棄物和減少對化石燃料的依賴，但在實際應用中，使用生質燃料仍存在許多缺點。與傳統電廠相比，生質能發電廠的建設和運營成本較高，預處理程序繁複，且供應源不穩定。此外，生質燃料也會產生空氣污染物，包括傳統污染物(TSNV)和重金屬等。由於目前多採用混燒發電，燃燒成分複雜，因此空氣污染物的規範比傳統電力業更為嚴格(需要進行重金屬和戴奧辛的定檢)。

我國促進再生能源及其產業發展的法規為「再生能源發展條例」，其中第 7 條規範中央主管機關應設置再生能源發展基金，作為再生能源相關發展用途，其中關於生質能的補助包含固定收購之躉購費率(Feed-In Tariff, FIT)、設置補助和併網連結等。FIT 的目的是提供再生能源投資者長期(20 年)的財務穩定性。近期，光電及離岸風電的 FIT 費率隨著技術成熟和市場擴張逐步下降；反之，為推廣國內其他類型的再生能源發展，其他再生能源的 FIT 費率顯示出逐步增加之趨勢。圖 3 顯示了近年來生質能 FIT 費率的變化¹⁵，2022 年有較明顯上升，2023 年更新增「農林植物」之 FIT 費率，且沼氣發電更是大幅提升。另外，為增加生質能發電之裝置容量，政府自 2022 年起進一步訂定「農業廢棄物」FIT 費率(5.141 元/度)，高於一般廢棄物及一般事業廢棄物發電之 FIT 費率(3.948 元/度)。以此鼓勵相關產業善用餘料(如農業廢棄物)就近發電利用，減少料源集運所帶來的環境影響和成本。

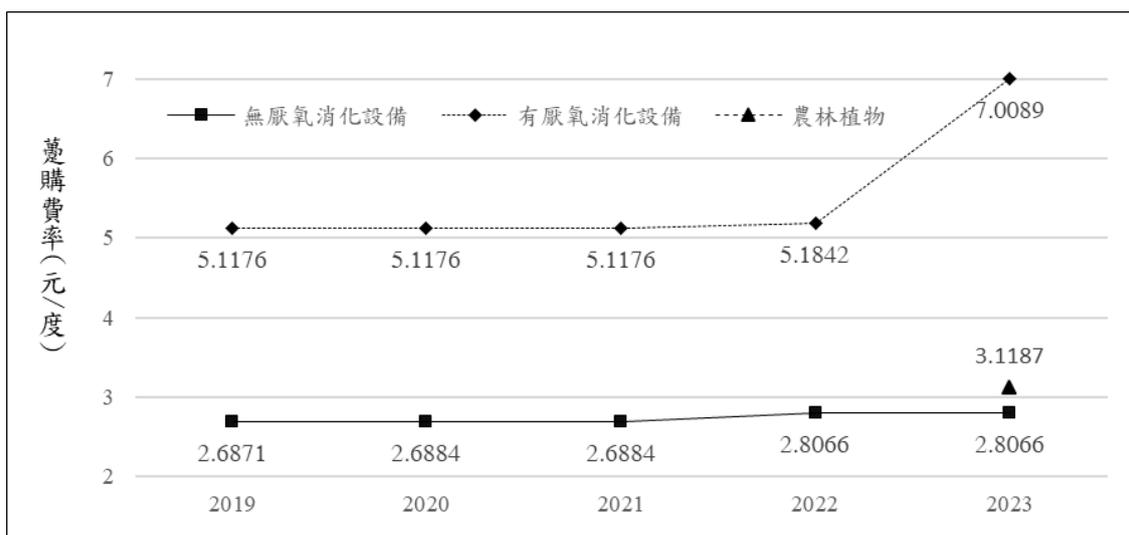


圖 3 近年我國生質能發電 FIT 費率

¹⁵ 經濟部，再生能源電能躉購費率正式公告 (108 年-112 年)

五、生質能發展面臨之挑戰

(一) 碳中和之挑戰

國際逐漸意識生質能對於實現溫室氣體減排目標有很大的幫助，但傳統生質能發展是否能達到碳中和仍有待商榷，如考量土地規劃與植物生命週期，有研究指出，全球若增加 2% 的木材生質能使用，商業木材砍伐量將增加一倍，對森林造成難以恢復的損傷¹⁶。此外，並非所有生質能源材料都可被認定為碳中和。因此，如何確保能源政策不會鼓勵錯誤使用生質能源材料，將是政策發展面臨的重大挑戰之一。

RED II (Renewable Energy Directive) 重新修正了關於再生能源永續性和溫室氣體排放標準，包含新增林業原料的永續性、固體和氣態生質燃料的溫室氣體排放標準、定義運輸用之生質燃料永續標準、逐步淘汰棕櫚油以減少森林砍伐、要求運輸部門使用先進生質燃料，捨棄以食物為基礎之生質燃料等。這些措施旨在保護原始老熟林，使之持續吸收和固定碳，同時減少使用整棵樹木以及糧食和飼料作物來生產能源，以實現永續發展。

(二) 生質能混燒之挑戰

生質能熱電減碳技術中，生質能混燒被認為是最具經濟效益和實用性的方法之一，與燃燒後的 CCUS 技術相比，混燒的減碳成本約低了 80%。因此，混燒技術成為歐洲國家最積極發展的減碳技術之一，能大幅減少發電部門的碳排放量。

生質能混燒主要可分為「直接混燒」、「平行混燒」和「間接混燒」，其中，「直接混燒」系統設計簡單且造價較低，是目前應用最廣泛的混燒方法；「平行混燒」則利用獨立於既有燃煤鍋爐外部的生質燃料鍋爐產生蒸汽，與既有燃煤鍋爐系統同步供應蒸汽，雖然灰份可分開處理，但設備投資較高；「間接混燒」在現有的鍋爐發電系統中增設氣化爐，將生質燃料氣化成合成燃氣後，與煤炭一同供入鍋爐進行混燒，能降低鍋爐的結渣及污染物排放。

大多數混燒電廠位於歐洲，其所面臨之混燒發展挑戰，包括生質料源供應不穩定、政府對混燒電廠運營許可要求高、自由化電力市場競爭激烈等。另外，混燒也面臨融資、能源轉換效率等問題，因為生質能密度低，需更多

¹⁶ Timothy D. et al., Europe's renewable energy directive poised to harm global forests. 9 Nature Communications 1. 2 (2018).

燃料才能產生與煤碳相同的電力；技術挑戰包括腐蝕問題和結渣結垢問題，生質燃料易導致鍋爐壁腐蝕(氯氣問題)，且須進行更多繁瑣的預處理。雖已有多項國際標準針對生質能之品質訂定檢測並予以分類，但隨著來源擴增，分選設備與技術及品質控管為未來之挑戰。

六、結論與建議

生質能作為一種清潔且可再生的能源，在氣候變遷及推動循環經濟中扮演著重要角色，且我國每年約有 500 萬公噸的農業生物廢棄物具有轉化為生質能的潛力，政府應持續建構完善的生質能發展環境，以下整理相關建議¹⁷，其中包含：

- (一)擴大本地生質能源來源，如甘蔗、竹子殘渣、已用香菇太空包、生物污泥、果樹枝條和牛糞等。
- (二)我國電力業尚未具備使用生質燃料發電之誘因，其發展已落後其他各國，建議參考歐洲的成功案例，制定相應的獎勵政策與制度，鼓勵將生質能作為高效燃煤電廠的部分替代燃料進行混燃，以降低溫室氣體排放。
- (三)由於生質能的營運成本較高，建議提高生質能發電的躉購費率。
- (四)建議修正「農業事業廢棄物再利用管理辦法」，新增再利用種類(如以稻米為基礎的殘留物)，透過回收和氣化等生質能技術，將物料管理優先處理。

¹⁷ LEE Y-R and Tsai W-T, Overview of Biomass-to-Energy Supply and Promotion Policy in Taiwan, *Energies* 2022, 15(18), 6576.

參考文獻

1. Energy & Climate Intelligence Unit. <https://eciu.net/netzerotracker>.
2. Han GS. 2012. Trend and outlook of wood pellet industry. *Prospectives Ind Chem* 15: 54–61.
3. IEA. Monthly Electricity Statistics. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/monthly-electricity-statistics>.
4. IRENA. 2021. World Energy Transition Outlook: 1.5°C Pathway.
5. Kim JK. 2013. The status of sustainable biofuels policy and development. *Prospectives Ind Chem* 16:1-15.
6. LEE Y-R and Tsai W-T. 2022. Overview of Biomass-to-Energy Supply and Promotion Policy in Taiwan, *Energies* 15(18), 6576.
7. Timothy D. et al. 2018. Europe's Renewable Energy Directive Poised to Harm Global Forests. *9 Nature Communications* 1.2.
8. Z. Akyürek and A. Güngör. 2021. Emission Assessment of Agro-Waste Combustion *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 27, pp.1-5.
9. 經濟部，再生能源發展條例，民國 112 年 06 月 21 日。
10. 經濟部，再生能源電能躉購費率正式公告 (108 年-112 年)。
11. 經濟部能源署，能源平衡表，<https://www.esist.org.tw/database/search/ebs>。
12. 經濟部能源署，能源統計年報。
13. 環境部，公私場所固定污染源燃料混燒比例及成分標準，民國 109 年 03 月 23 日。
14. 環境部，預告「公私場所固定污染源燃料混燒比例及成分標準」、「公私場所固定污染源應符合混燒比例及成分標準之燃料」及「鍋爐空氣污染物排放標準」修正草案，民國 112 年 07 月 24 日。
15. 環境部，資源循環署事業廢棄物申報及管理系統 <https://waste.moenv.gov.tw/RWD/Statistics/?page=Year1>。
16. 農業統計資料查詢，<https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx>。