



木顆粒與棕櫚殼能源化 生命週期評估

A Life Cycle Assessment of
Wood Pellets and Palm Kernel Shell in Taiwan

Linking innovations and closing Loops



目錄 Table of Contents

執行摘要	01
生質能與環境永續	02
農林資材再生	04
生命週期評估方法	05
系統邊界與情境假設	06
生命週期評估結果	07
結論與建議	09



Executive Summary

讓農林剩餘資材再次作為生質燃料是近幾年來生質能產業發展的重要趨勢，木顆粒 (wood pellets) 與棕櫚殼 (palm kernel shell, PKS) 作為生質燃料，已在國際綠能市場扮演越來越重要的角色，以英國 Drax 電廠為例，其燃煤機組轉換為專燒或混燒木顆粒之機組，讓英國一躍成為全球最大工業木顆粒進口國，日本與韓國受惠於綠能獎勵政策，在木顆粒與棕櫚殼進口量與需求量也都大幅成長。

本報告以生命週期評估法，分析自東南亞國家進口木顆粒與棕櫚殼作為鍋爐燃料對整體環境衝擊。主要結果顯示，相較燃煤，木顆粒與棕櫚殼對整體環境影響僅為燃煤的 30.8% 與 23.4%，而主要影響類別為人類健康。棕櫚殼為棕櫚油提煉過程中所產生之固體殘留物，但木顆粒來源為疏伐林廢木或木製品製造過程中所產生的廢木屑，須經過乾燥及造粒程序以利運輸，故木顆粒對環境影響略高於棕櫚殼。

Biomass from agriculture and forestry wastes is an important focus for the development of biomass industry. Wood pellets and palm kernel shell (also called PKS) have increased in popularity globally as a 'sustainable' biomass fuel. For example, Drax Power (U.K.) converted their coal-fired units to wood pellets, making the UK the world's largest importer of industrial wood pellets. Because of policy incentives in Japan and South Korea, the imports and demands for wood pellets and PKS have also increased significantly.

In this report, the life cycle assessment (LCA) approach is used to analyze the impacts of wood pellets and PKS imported from Southeast Asian countries on the environment. The main results show that the impacts of wood pellets and PKS are only 30.8% and 23.4% of the impacts of coal, respectively. The main category of impact is human health. PKS is the solid residues produced during palm oil refining, but wood pellets have to be made through size reduction, drying, sieving, grinding, and pelletizing. Thus, wood pellets have a slightly higher environmental impact than PKS.



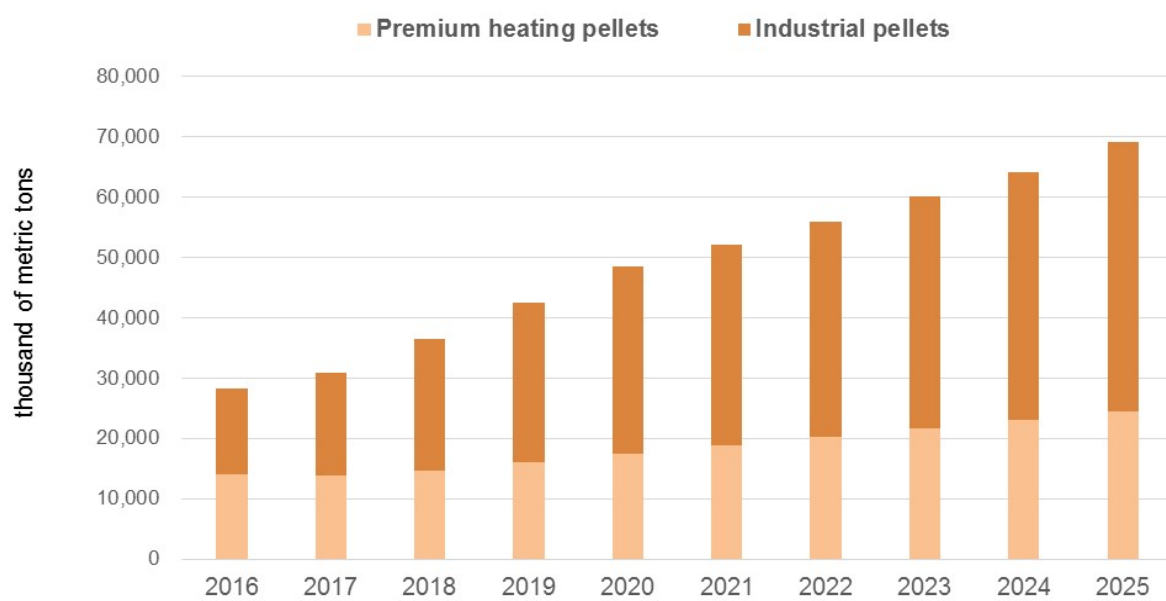
生質能與環境永續

Biomass and Sustainable Environment

生質能是最古老的再生能源，其範疇涵蓋固態、氣態與液態生質能，生質能技術發展也從傳統生質能到現今以纖維、農林剩餘資材、廢棄物等作為料源，不但已無與民爭糧的疑慮，同是也可減少溫室氣體排放。歐洲是全球最大生質能市場，日本及韓國為代表的亞洲市場則是近年來的後起之秀，也是未來成長主力。

隨著對木顆粒與棕櫚殼之需求量成長，各國政府也逐漸面臨環保團體與當地民眾對於這些生質燃料是否真實為環境友善能源之疑慮，例如：木顆粒因為需要經過造粒程序，經常被質疑是否反而耗用更多能源，另外的疑慮是這些料源是否真的來自廢棄物或永續原料？而非砍樹來當作燃料？各國政府面對這些質疑，開始針對生質能永續性制定規範，歐洲議會及歐洲理事會於 2018 年達成協議，修訂再生能源指令 (RED II)，其中包含有助於提升對生質能永續性信任之提案。

相較於其他再生能源 (風力、太陽能、水力、潮汐)，生質燃料之供給量穩定，可直接用於火力發電取代化石燃料，做為基載電力之燃料來源，全球需求量逐年成長，在維持電網穩定及能源系統安全，將發揮越來越重要作用。我國能源仰賴進口，生質燃料之來源除進口外，未來亦可使用本土料源。



資料來源：Argus Biomass Direct

圖1 全球木顆粒需求總量



Source: Drax

農林資材再生

Recovery of Agriculture and Forestry Wastes

木顆粒須經過破碎、篩選、乾燥及造粒等程序，製成外型與成分均符合特定規格的顆粒燃料，木顆粒由於大小及熱值均勻，易於運輸及儲存，並直接應用於鍊條式鍋爐、流體化床鍋爐及發電燃煤鍋爐等作為主要燃料或與燃煤混燒。木顆粒原料來源主要為林業廢棄物，例如：森林疏伐材及工廠木料邊材。



棕櫚殼亦稱為棕櫚核仁殼，為棕櫚油提煉過程中所產生的副產品之一。棕櫚果總共分為三層，由外至內分別為果肉、棕櫚殼(又稱棕櫚核仁殼)、棕櫚核仁，其中，果肉與核仁皆有極高油含量。棕櫚殼是棕櫚油提煉過程中所產生之固體殘留物，無須經過加工，可直接作為燃料使用。



生命週期評估方法

Life Cycle Assessment

根據 ISO 14040 的定義，生命週期評估 (Life cycle assessment, LCA) 係「對產品系統自原物料的取得至最終處置的生命週期中，投入和產出及潛在環境衝擊之彙整與評估」，也就是評估產品整體生命過程對環境造成的衝擊。

產品的整個生命週期包含「原料」、「製造」、「運輸」、「使用」及「壽命終止」等5個階段，衝擊類型包含「人類健康」、「生態影響」及「資源使用」等。其評估對象聚焦於一個特定的產品、製程或服務，評估階段可為整體生命週期或部分階段，因此可作為企業產品研發或公部門制定永續政策的環境評估工具。

本報告生命週期評估參考 ISO 14040 流程進行，生命週期衝擊評估模式選擇上，以 IMPACT 2002+ 評估多面向環境衝擊。

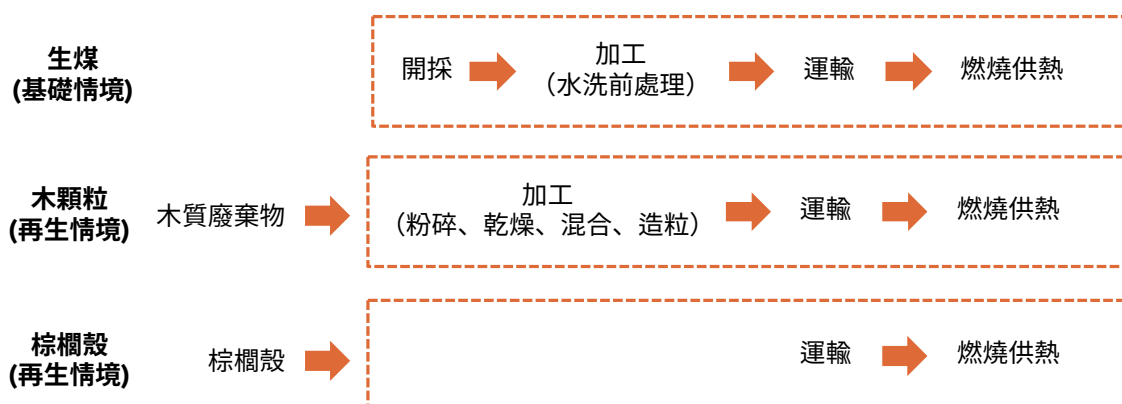
- IPCC GWP 100a 被廣泛應用於評估產品之減碳效益分析，其衝擊評估方法中，以二氧化碳當量 (CO₂ eq) 做為測量單位，計算產品形成後 100 年期間溫室氣體排放之二氧化碳當量衝擊。
- IMPACT 2002+ 衝擊評估方法，將環境衝擊分為 17 項衝擊類別，並將衝擊結果歸納為人類健康 (Human health)、生態品質 (Ecosystem quality)、氣候變遷 (Climate change) 與資源耗用 (Resources) 等 4 項衝擊評估結果。

系統邊界與情境假設

Boundary Settings and Scenarios

本報告生命週期評估以進口木顆粒與棕櫚殼作為評估標的，評估範疇包含運輸、加工及燃燒產熱等階段，過程中所有能源、資源、設備投入及排放之廢棄物須納入計算。設定之系統邊界如 圖2 所示；基礎情境皆為燃煤（進口），再生情境則為木顆粒（進口）及棕櫚殼（進口）。

臺灣木質顆粒燃料仰賴進口，主要來源為印尼、馬來西亞與越南。其中，運輸又分為4個階段：(1) 原料運送至造粒工廠；(2) 造粒工廠運送至出口港；(3) 東南亞出口國至臺灣；(4) 進口港至使用端；臺灣棕櫚殼燃料仰賴進口，主要來源為印尼與馬來西亞。其中，運輸又分為3個階段：(1) 棕櫚油工廠運送至出口港；(2) 東南亞出口國至臺灣；(3) 進口港至使用端。運輸距離皆以平均距離估算。



註：因研究使用之原料為下腳料，依照生命週期評估截斷 (cut-off) 準則，原料之生產過程不納入範疇內，可直接忽略不計。

生命週期評估結果

Results and Analysis

木顆粒與棕櫚殼在各項衝擊類型皆遠低於燃煤：經 IMPACT 2002+ 方法評估，木顆粒 (進口) 與棕櫚殼 (進口) 在 4 大類衝擊類型皆遠低於燃煤，其中又以氣候變遷及資源之衝擊類別最為明顯。

人類健康是最主要的衝擊類別：以燃煤 (進口) 分析，人類健康是最主要的衝擊類別，其次為氣候變遷；以木顆粒 (進口) 與棕櫚殼 (進口) 分析，人類健康是最主要的衝擊類別，其次為生態品質，木顆粒與棕櫚殼在燃燒時所排放的溫室氣體則遠低於燃煤。

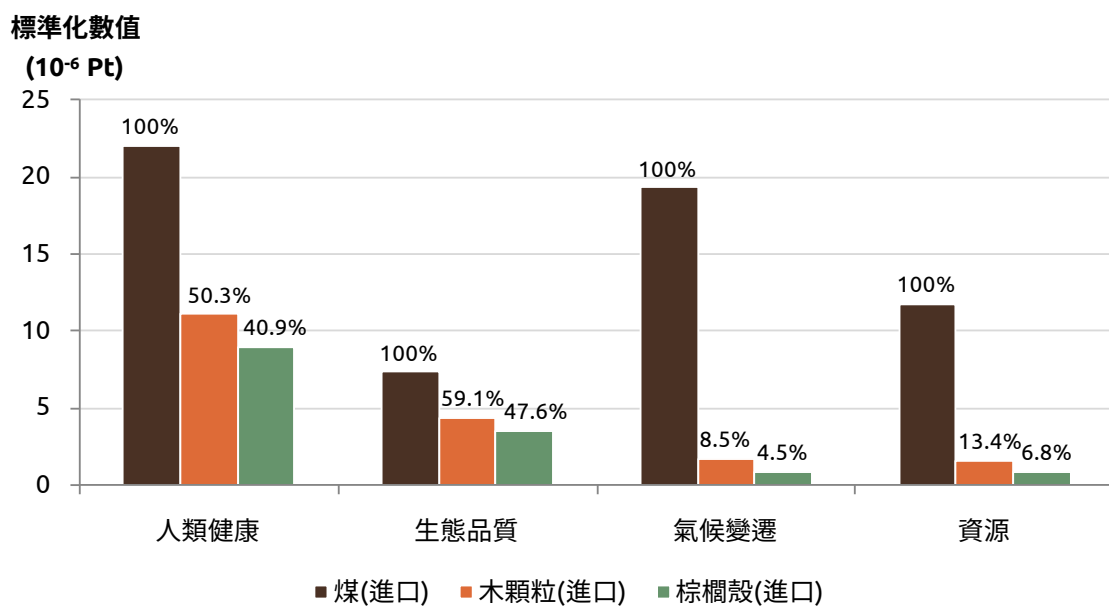


圖3 生命週期評估結果：衝擊類別

生命週期評估結果

Results and Analysis

木顆粒及棕櫚殼對整體環境衝擊遠低於燃煤：綜合人類健康、生態品質、氣候變遷及資源等4大類衝擊，木顆粒（進口）與棕櫚殼（進口）對整體環境衝擊，分別僅為燃煤（進口）的30.8%及23.4%。

棕櫚殼環境衝擊小，主要影響因素為熱值差異與加工程序：棕櫚殼熱值高（4,800 kcal/kg），且不須經過燃料前處理，因此在生命週期中總體投入的原物料及能源最少；木顆粒環境衝擊較棕櫚殼稍高，兩者熱值相近（4,600 kcal/kg），但木顆粒需經過造粒前處理階段，工廠建造與營運需投入較多的能源與資源，因此環境衝擊較大。

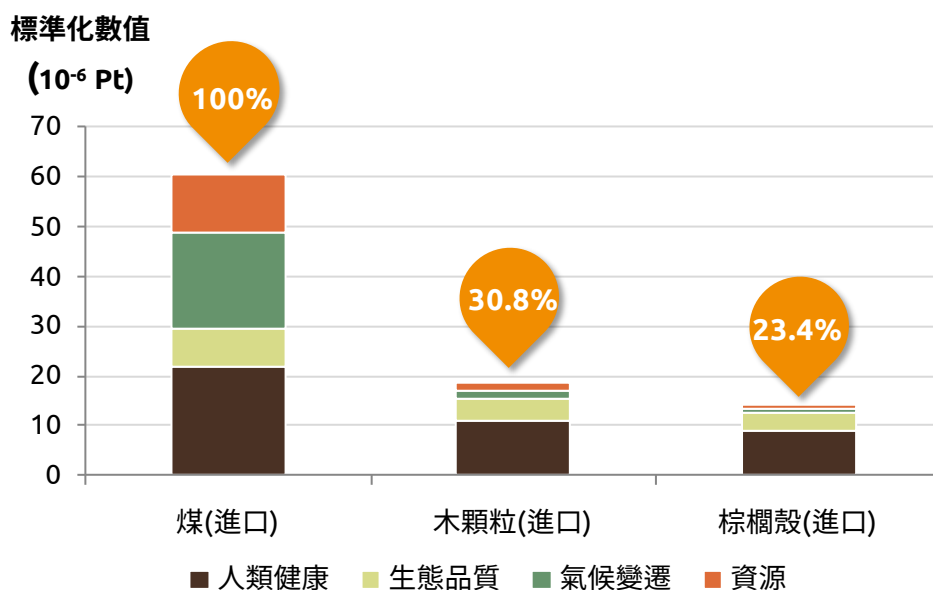


圖4 生命週期評估結果：總衝擊

結論與建議

Conclusions and Suggestions

- 生質能是最古老的再生能源，生質能技術發展也從傳統生質能到現今以纖維、農林剩餘資材、廢棄物等作為料源，不但已無與民爭糧的疑慮，同是也可減少溫室氣體排放。歐洲是全球最大生質能市場，以日本及韓國為代表的亞洲市場則是未來成長主力。
- 本報告以進口木顆粒及棕櫚殼為評估標的，並以進口燃煤作為基礎情境，採用生命週期評估法分析其對環境之衝擊，使用生命週期評估 (LCA) 評估比較其整體環境衝擊。
- 整體研究結果顯示，進口木顆粒與棕櫚殼對整體環境衝擊僅為進口燃煤的 30.8% 與 23.4%，此外，木顆粒與棕櫚殼在人類健康、生態品質、氣候變遷及資源等 4 大類衝擊類型皆遠低於燃煤，其中又以氣候變遷及資源之衝擊類別最為明顯且低於燃煤。
- 相較於其他再生能源 (風力、太陽能、水力、潮汐)，生質燃料之供給量穩定，可直接用於火力發電取代化石燃料，做為基載電力之燃料來源，全球需求量逐年成長，在維持電網穩定及能源系統安全，將發揮越來越重要作用。

Report Writing:

劉恩廷、吳周燕、蘇佩伊、馬耐德

Project Lead and Coordination:

羅時芳、張哲銘

Design and Layout:

陳 捷



LINK & LOOP

Linking innovations and closing Loops.



Supported by | 
INDUSTRIAL DEVELOPMENT BUREAU,
MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS
經濟部工業局

Organized by | 

