

稻草能源再生利用

文圖 | 盛中德 國立中興大學生物產業機電工程學系教授

稻作生產收穫後於田間遺留下的生質廢棄物為稻草，主要成分包含有機纖維素與木質素，目前有些農民於收穫作業中同時將稻草切碎，再經翻土作業將其掩埋於田間，除用以改良土壤物理性外，並可經腐化成為有機質，回歸土壤被農作物所吸收利用。

台灣地處亞熱帶又採育苗栽培制度，稻作 1 年可 2 作，在一期作與二期作間，由於稻草矽的含量高加上腐熟時間不足，在耕作插秧期間無法及時腐化成為可以利用的有機質狀態，如此不但無法被作物有效的利用，同時不利耕作作業的進行，如產生嚴重浮草以致阻塞灌溉渠道。調查顯示，國內有些稻農為求方便，於水稻收穫後，仍將約占全株一半重量之稻草棄置田間曝

曬後，再集堆以焚燒方式處理，而焚燒時產生的大量濃煙不但造成空氣污染，且危及道路安全。為此，要有效解決稻草任意焚燒問題，最有效的方法就是提升稻草再利用率，改以資源化使用的方式管理稻草，在具經濟誘因及需求的情況下，相信農民為增加收益，將會主動配合進行稻草收集與貯運作業，進而在積極面有助稻草的資源化發展利用，在消極面將解決因稻草所衍生的種種環境問題。

一. 稻草的利用現況

早期農民常將稻草作為燃燒材料，除利用所產生的火源來煮飯、炒菜或煮甘藷葉飼養家畜外，稻草亦為重要的農村建材，如使用於屋頂遮雨遮陽、土繫摻雜稻草段、土牆摻雜稻草段、土城摻雜稻草、竹編或官芹編敷泥牆等應用。近年來，由於生活



圖 1. 稻草切碎壓縮加工成飼料

水準的提升，農村大都改以瓦斯、電力、或重柴油…等為生活能源的主要來源，並塑膠繩取代稻草繩，使得稻草的利用價值越來越低，漸成為農業廢棄物，造成環境的負擔。

雖然國內稻草的應用範圍極為廣泛，如稻草可作為飼料、堆肥添加物、栽培介質（如洋菇生長）、作物栽培的覆蓋物（如宜蘭三星蔥）、加工材料（榻榻米、疊床、草繩、草蓆、草袋等）及直接作為燃料等，但使用的數量相當的有限，且有逐漸縮小的趨勢。往年，國內約有 11 家業者生產稻草飼料外銷日本（圖 1），但口蹄疫發生以後，國內稻草飼料日本即禁止進口，至目前國內只剩 1 家業者於國內營運。隨著環保意識抬頭，但在強調自然與生態的要求下，國內外草繩的使用量有逐年增加的趨勢，相伴的國內草繩產業亦在逐漸加溫的發展。目前嘉義縣民雄鄉之草繩合作社仍有製造草繩外銷日本（圖 2）。

稻米為我國主食，稻米的生產同時產生數量龐大的稻草殘體（依 96

年農業統計年報，台灣稻穀產量為 136.3 萬公噸，產生 148.6 萬公噸稻草），稻草的利用範圍雖然相當廣泛，其利用的數量不但有限且逐漸減少中；筆者深覺，這些為數可觀的稻草若不加以利用，不但是資源的浪費，且會對環境造成嚴重的負面影響，故國內相關人士急需為稻草尋求新的出路與應用方向。

近幾年受溫室氣體（包含 CO₂）排放嚴重過量的影響，全球暖化問題日趨嚴重，具減碳功能的生質能源已成為世界各國發展的重點。對稻草而言，不論就節能減碳、環保、經濟或需求規模上考量，國產稻草都具有發展成為生質能源生產原料的潛力。

二. 稻草產製生質能源

生質能源的生產雖有所謂能源作物的配合，但主要的原料仍是穀物（第一代生質能源），因此在生質能源大量擴張生產時，它直接促成糧食價格的飛漲，即造成當時所謂的糧食危機，而這也讓生質能源專家警覺到生質能源的發展，應朝農業廢棄物（副產物）及非糧食之能源（纖維）作物發



圖 2. 稻草經梳草機、製繩機加工製成草繩

展，此也是目前生質能源研發的重點方向（第二代生質能源），而其中利用農業廢棄物的纖維製造酒精在國內深具發展潛力。

稻草之主要成分為纖維素（約24.7%），半纖維素（約20.6%），木質素（約8 - 11%），二者合計含量即占了整體木質纖維素組成的80%。而纖維素與半纖維素均可經水解與發酵用來生產生質酒精。要將稻草纖維質原料轉化成為酒精，主要包括將纖維素轉化為可發酵的醣類

（又稱醣化）與發酵醣類產生酒精等2個步驟。稻草經粉碎後，利用稀酸或酵素經水解將纖維轉化成五碳糖及六碳糖，糖溶液再經由發酵程序轉化為酒精。剩餘的木質素可作為酒精生產時的固態燃料，提供酒精純化所需的能量。

目前，世界各國針對二代生質酒精正積極發展各種纖維素水解技術及節能生產技術，其中稻草產製生質酒精亦為國內未來發展的重點

之一。據研究每公噸乾稻草約可產製270公升的燃料酒精，全台每年生產148.6萬公噸的稻草，計有40萬公秉的生質酒精潛量，惟目前國內尚無纖維酒精專業生產工廠，而國外一具經濟規模的酒精工廠其產能必須在年產10萬公秉以上，國內稻草的生產

規模在作為生質酒精原料時，尚不虞匱乏，換言之即稻草本身非常具有潛力可作為我國纖維酒精的生產料源。

稻草產製生質酒精會形成一個CO₂循環的封閉系統（圖3），其

CO₂的淨生成為零，未來讓環保局頭痛的焚燒稻草問題將不復存在，且能有效提高國內能源自足比例。

稻草中貯存的能源亦能以其它的形式加以利用，如先將稻草等農業廢棄物轉化為固態錠型衍生燃料（Refuse Derived Fuel, RDF），可用來供應終端能源設備，而非直接燃燒稻草，目前此利用方式亦已成為主要的發展趨勢之一。將稻草中具有熱值的可燃物製成質地均勻、高熱值、不易腐壞、可

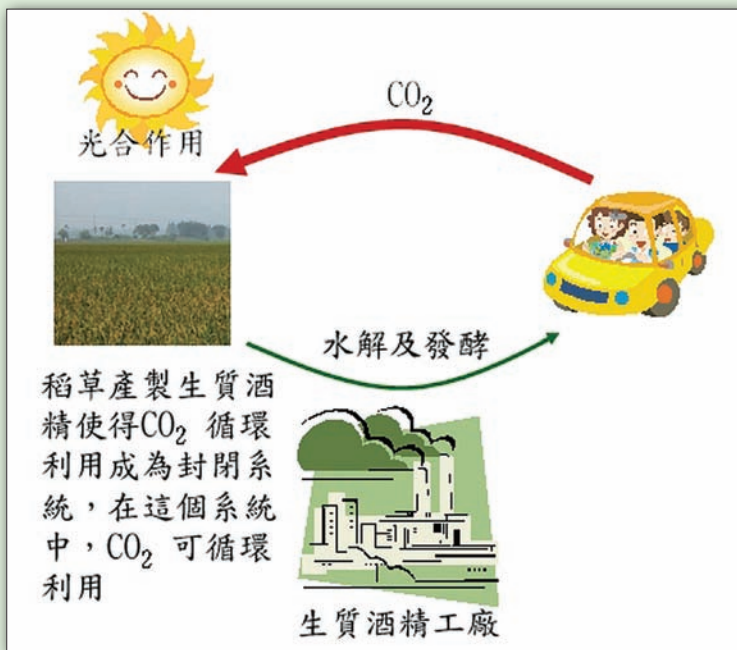


圖 3. 利用稻草產製生質酒精之 CO₂ 循環圖

儲存、燃燒穩定且不易產生二次污染物等具諸多優點的廢棄物衍生燃料，並可有效提升熱能的利用效率。其生產過程可概分為：破碎、分選、乾燥、混合添加劑及成型等（圖 4），即可製成易於運輸及儲存的固態衍生燃料，如此在應用上對環境、能源利用效率、污染防治費用等均優於直接焚化系統。

三. 結論

農業生產過程中除了生產標的物外，無法避免的會有相當的副產物相伴產生，有些能被進一步利用的便成為另一種的標的物或原料，但有些尚不具有明顯的用途，如此它便變成為廢棄物，其中稻草在某些情況下即為農業廢棄物，這些農業廢棄物如不妥善處理，還會衍生環境污染問題。但若善加利用，不但不會污染環境，更可變成資源，創造財富，意即將稻草「資源化」。

稻草資源化的目標是利用生物科技來處理台灣稻作收穫後所產生龐大數量的稻草，使其變成資源，以達成再利用之目標。我國土地資源有限，發展生質酒精能源時有先天之限制，如能充分利用稻草，使其轉為生質能源，可兼具能源與環保之功效，值得大力推動。

生質能符合永續經營的理念，並非僅以處理稻草等農業廢棄物就滿足了，而是要把生質物資源化與能源化，兼具能源與環保雙重貢獻。未來在政府妥適的政策推動下，相關公民營業者發展產業，於國內形成一完整的第二代生質能源產業體系，此不但可妥善解決焚燒稻草造成的環境污染問題，更能充分利用國內稻草資源，轉換為可用的能源，提升國內能源自足比例，這對能源幾乎全仰賴進口的我國將有極大的助益，也為台灣永續發展建立良好的基礎。🌱



圖 4. 稻草產製固態錠衍生燃料