

# 生質物——後化石世代的重要能源與工業原料

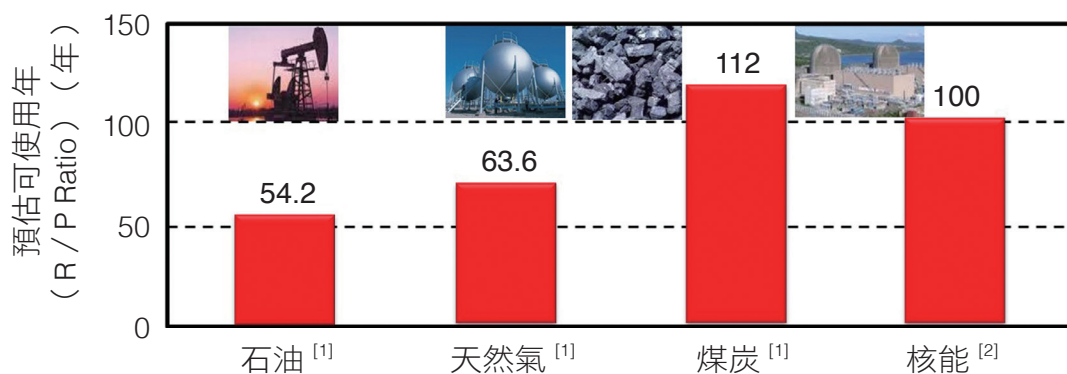
科學家嘗試透過不同的物理、化學與生物程序，把複雜的生質物結構重新降解為特定的成分，為工業原料與能源的供應而努力。

■ 萬皓鵬

18 世紀工業革命以來，人類大量使用化石燃料，形成以其為主的能源供應體系，以及以石油為主的石化工業。然而，在大量倚賴化石原料下，科學家不斷提出警訊，煤炭、石油、天然氣等傳統化石能源的供應量，都僅能提供人類使用數十年至兩、三百年間。面對後化石能源時代，為了維持人類生活品質與工業生產，尋找新的替代能源或工業原料成為近年來科學家努力的方向。

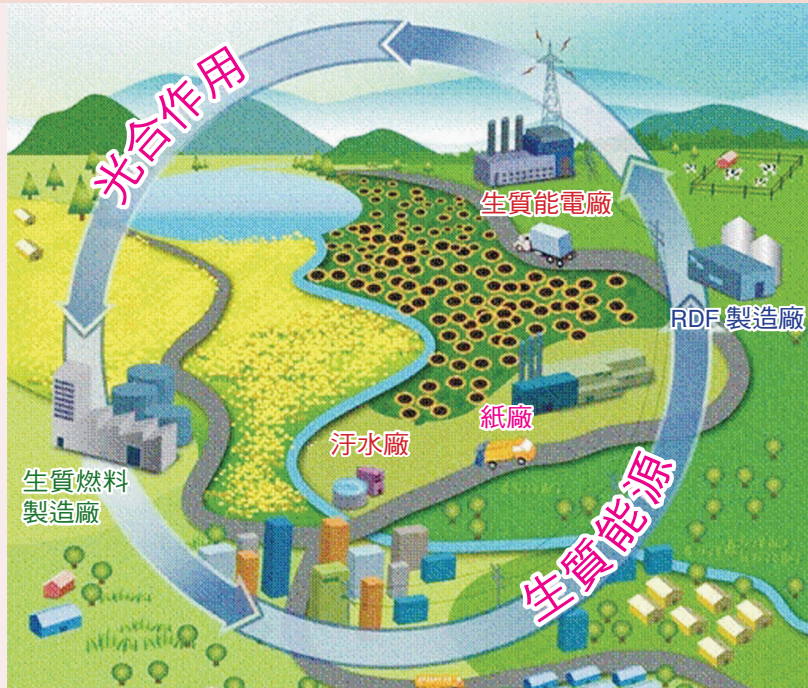
## 生質物與生質能源

生質物 (biomass) 廣泛的定義是「生物或其所產生的有機物質」，因此，生存在地球上的微生物、植物、動物，以及其排泄物，都可以稱為生質物。



註 1：BP Statistical Review of World Energy June 2012；註 2：Joint Report OECD NEA and IAEA (Uranium 2007)；其他：統計中不包括頁岩氣、頁岩油等，RP Ratios：蘊藏量 / 每年使用量

主要化石能源與核能的可使用年限



生質物的碳利用循環

可應用於工業或能源上的生質物，包括動物、植物、藻類和其他種類的生物。最簡單的應用，如利用獸力農耕或研磨穀物、利用柴薪取暖或提供煮食所需的熱能、利用微生物分解禽畜糞便而產生甲烷氣等。以植物來說，其組成包括糖、澱粉、油脂、木質素、纖維素、半纖維素等，都可以提供能源或工業原料。

近年來，在極端氣候與溫室效應、化石燃料逐年用罄等情況下，科學家把未來能源與工業原料的希望，寄託在可永續經營的生質物上。面對後化石世代的原料與能源需求，具有與化石原料類似有機組成的生質物，無疑將成為接替化石原料，維持人類生活需求相當重要的選項。

生質物用於能源之所以被稱為「永續能源」，主要在於其「碳中和」的特性。生質物尤其是植物成長過程中，會吸收二

氧化碳、養分、水分等，並把空氣中的碳固定在其結構中。當生質物應用於產生能源，燃燒後所排放的二氧化碳又可被其他生質物吸收，因此形成碳應用的永續循環。

目前全球生質燃料的主要應用方式包括把含有油脂類的生質物，如黃豆、油菜籽、向日葵籽、油棕果等，萃取出油脂再經過轉酯化成為甲基酯（生質柴油），用以替代化石柴油；把生質物，如甘蔗、玉米、甜菜、木薯等內所含的糖或澱粉分離出來，再用生物發酵法生產酒精（生質酒精），用以替代化石汽油；而主要由木質素、纖維素、半纖維素等組成的玉米稈、玉米穗軸、甘蔗渣等殘渣，則透過直接燃燒提供工廠所需的熱能或電能。

然而前述的生質物應用，有與人爭糧、與糧爭地、土地利用永續性等問題。於是，科學家在考量與糧食區隔及永續使用的前

**面對後化石世代的原料與能源需求，具有與化石原料類似有機組成的生質物，無疑將成為接替化石原料，維持人類生活需求相當重要的選項。**

提下，由前述的「第 1 代生質燃料」應用轉而致力於「第 2 代、第 3 代生質燃料」的研發與應用。

新世代生質燃料主要的特色，在於以科學理性的角度，思考與評估可使用於能源或工業原料的生質物是否符合永續性需求。因此，由生命週期角度評估植物成長至應用等不同階段所需的資源、能源，所吸收、產生的二氧化碳等，包括總碳排放及二氧化碳減量、能源產出投入比、單位面積生產量、用水量、土地利用效率、應用效率等。

## 轉換的契機

科學的進步讓人思考如何讓有限資源發揮最大的效用。如果未經控制直接燃燒木材，因為接觸面積、燃燒條件、熱損失等因素，僅能把木材裡化學能中不到 10 %

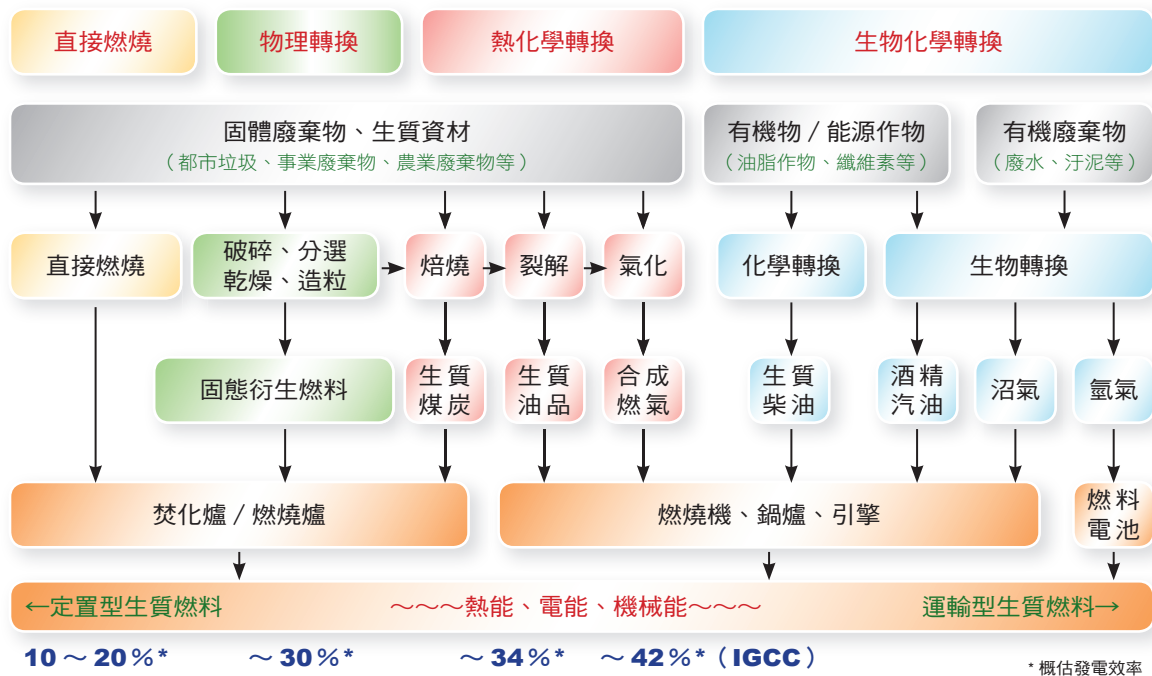
的熱能提供烹煮使用，但如果使用高精密的燃燒控制，其熱能效率可能超過 90 % 以上。另外，如果透過特定技術把生質物轉換為燃料，可大大提高能量密度、燃燒效率與降低污染物的排放。

以目前已商業化及發展中的生質物轉換能源技術而言，可概分為「熱化學轉換技術」及「化學與生物轉換技術」兩大類。前者包括燃燒、乾燥與物理轉換、缺氧熱化學轉換，後者包括化學轉換（轉酯化）、木質纖維素降解產醣進而發酵產生醇類、生物產氫及甲烷氣等技術。

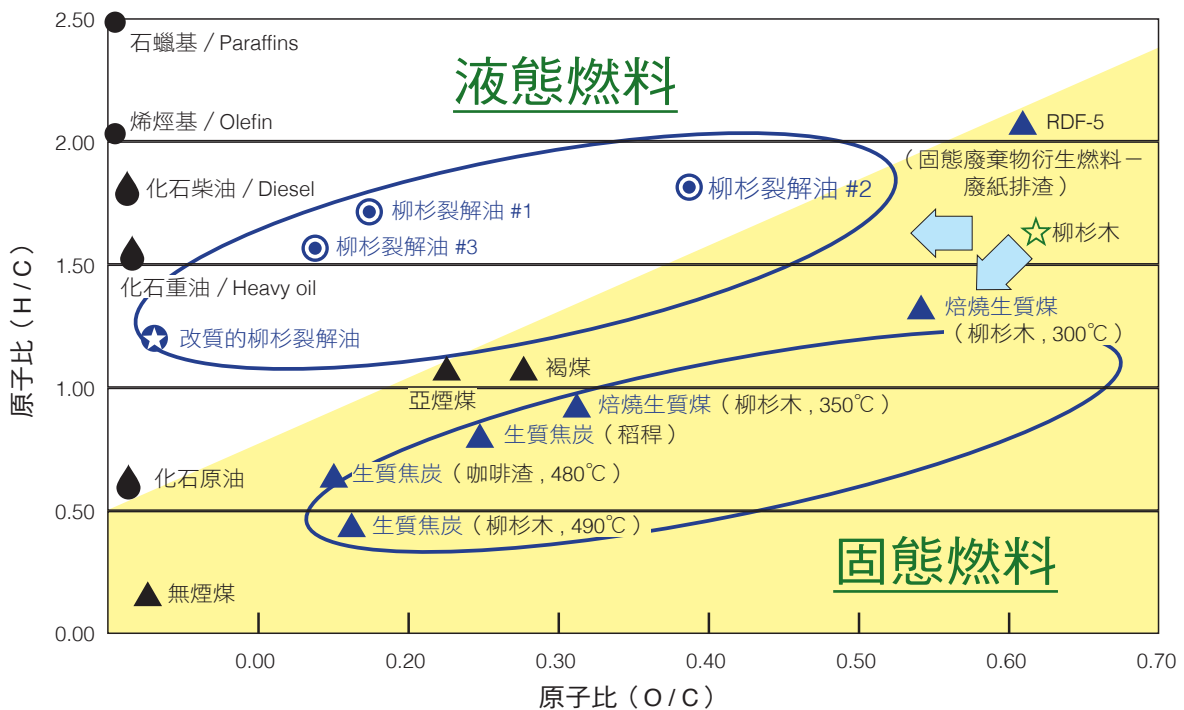
如果比較生質物與傳統化石燃料成分，可以了解在數億年大自然的作用下，化石燃料中多數的氧元素已被細菌或溫度所消耗，因此無論是煤炭、石油或天然氣，燃料中的氧碳比都較生質物低得多。多數生質物的轉換，目的都是降低氧含量及提高



不同世代與形態的生質燃料應用



生質物轉換技術圖



傳統化石燃料與不同形式生質燃料的碳氫比與氧碳比成分圖

## 透過燃燒程序直接把生質物中可燃成分的化學能轉換為熱能，是生質能源主要的應用方式。

氫碳比，在應用於燃料時可提高燃料熱值及使用的穩定性。

### 生質物熱化學轉換技術

透過燃燒程序直接把生質物中可燃成分的化學能轉換為熱能，是生質能源主要的應用方式。工業界燃燒燃料產生熱能，透過水做為熱能媒介產生水蒸氣，進行供暖、乾燥、發電、滅菌等工業程序。直接應用生質物燃燒雖然簡單，但因生質物含水率偏高、尺寸不一、組成複雜等，使整體系統的熱電效率偏低，因此適當的前處理是應用生質物燃燒的必要選擇。

前處理程序包括破碎、乾燥、混合等，透過造粒程序移除不可或不適於燃燒的成分，並使生質燃料更均勻。造粒技術是指在一定壓力作用下，把原來鬆散、細碎、無定形的生質物原料，壓縮成密度較大的粒狀、棒狀、塊狀等各種成形燃料。產業化的生質物造粒程序，結合破碎、篩選、乾燥、調配、擠壓成形等方法，把原本成分複雜、含水率高及熱值較低的生質物或廢棄物，製成性質均勻穩定、含水率低及熱值高的固體燃料，具有易於儲運及燃燒的優點，達到同時有效回收資源與能源利用的效能。

焙燒技術主要在常壓、缺氧、約攝氏 250 ~ 300 度的中溫條件下（升溫速率小於每分鐘攝氏 50 度，反應時間 30 分鐘 ~ 3 小時），去除水分及大部分揮發物質，以減少生質物體積、提升產品能源密度。生質物隨著溫度與時間的增加，依序釋放出

水分、二氧化碳、一氧化碳、醋酸、甲醇、其他有機物、焦油、樹脂等，最終成為焙燒生質炭。

生質物經過焙燒處理後，半纖維素受到破壞，反應後約產生 70 wt %（重量百分比）的生質炭，其熱值約 19 ~ 22 MJ / kg，占原生質物約 90 % 的熱值。因此經過焙燒技術處理後，焙燒生質物的熱值、能量密度會提高，在含水率、生物可分解性、疏水性、可磨性等特性上都較未焙燒的生質物佳。

近年來，焙燒技術受到各國重視並積極發展的主要理由，在於它可把高水分、低能源密度的生質物，轉換為低水分、高能源密度的生質炭。生質炭除可大幅降低運輸成本外，因其物理和化學性質與煤炭相近，很可能進入大型火力發電廠，在粉煤鍋爐中與煤炭混燒。

生質廢棄物熱裂解是指在缺氧氣或有限氧氣、攝氏 400 ~ 500 度中溫條件下，藉由熱能把生質物中長鏈大分子的木質素、纖維素、半纖維素等的化學鍵切斷，解聚成較小分子的燃料物質（生質焦炭、可燃氣與生質油）的熱化學轉化方法。

裂解技術包括快速裂解、中速裂解及慢速裂解 3 種。快速裂解反應時間最短，約僅有數秒，生成產物以液體為主（大於 50 wt %，熱值約 20 MJ / kg）。慢速裂解停留時間長達數小時至數十小時，主要產物以固體物為主，也稱為炭化反應。中速裂解反應則介於兩者之間，而使用何種裂解方式取決於所需的主要產物而定。除應用於能源外，裂解技術也應用於竹醋液、竹炭、煙燻烤肉醬等產品的製造。



↑ 固態顆粒生質燃料（左起：紙廠廢棄物、稻稈、廢菇包培養土）

↑ 焙燒生質炭（左起：稻稈顆粒燃料、稻稈培燒炭、碎木、碎木焙燒炭）

生質廢棄物快速裂解產油技術

農業廢棄物快速裂解產油技術

生質物裂解原料與裂解油、生質焦炭產品（上—左起：柳杉、裂解油、焦炭；下—左起：油茶殼、裂解油、焦炭）

不同原料酚化物製成的電木板（左起：化石酚、液化木質素酚、裂解油酚）

各種生質物與生質燃料、生質原料產品。

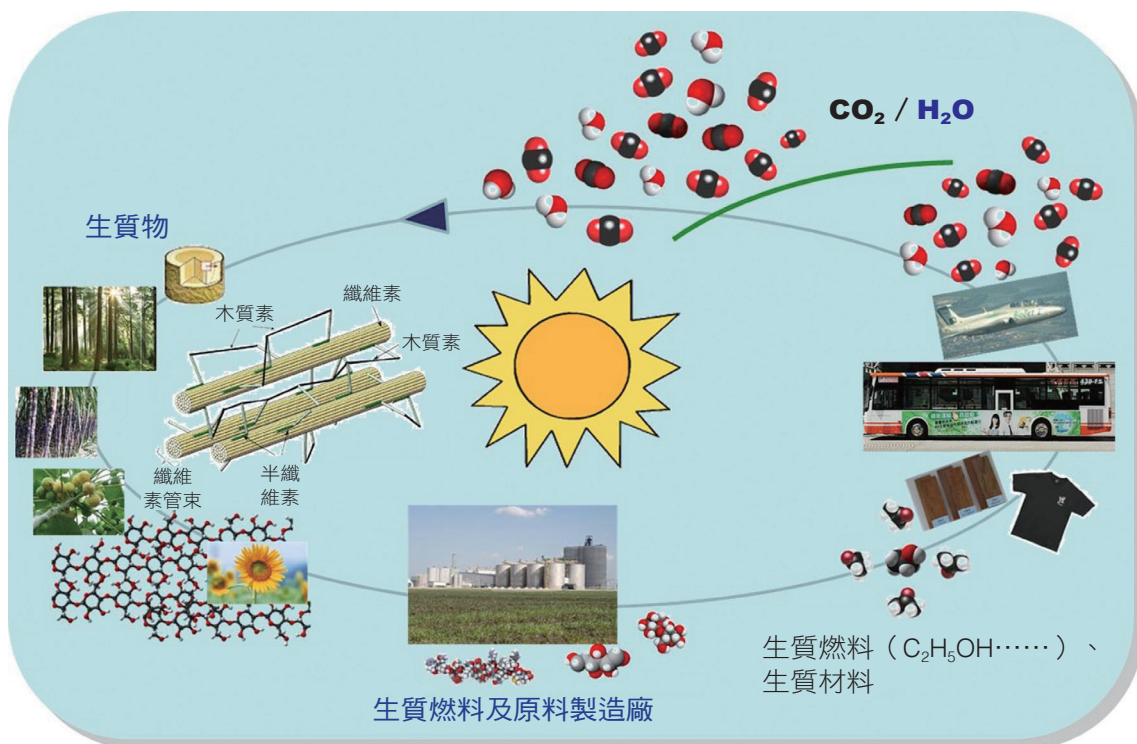
快速裂解因為生質物在很短時間內受到大量熱能的斷鍵作用，因此生成的產物組成非常複雜，包括醇類、醛類、酸類、酚化物等有數百種之多，產生的油品可直接或經改質後應用於鍋爐或引擎中，以取代化石燃油。由於生質物裂解油根據油品品質、精煉程度的不同，較固體燃料有更多樣性的燃料應用方式，而且有儲存、輸送與能源密度較高的優點，是一種相當有吸引力的熱化學轉換技術。

氣化技術是指在高溫超過攝氏 800 度下進行非催化性的部分氧化反應，把含碳物質轉換成以氣態為主的燃料提供能源使用。一般生質廢棄物氣化程序的設計與操作，依最終產品產業應用方式而有所不同。

經氣化反應所產生的可燃氣體主要包括一氧化碳、氫氣、甲烷等，可直接做為鍋爐與發電機組的燃料以產製水蒸氣及電力。

合成燃氣也可透過高壓觸媒反應器，進一步合成為各種化學品及燃料。以氯化合成氣製備生質燃料的主要技術是 Fischer Tropsch (F-T) 合成法，是用合成氣為原料，在鐵、鈷、鎳基等觸媒作用下，合成液態的碳氫化合物。經 F-T 技術轉換生質物所製備的「綠色柴油」或稱「第 2 代生質燃料」，具有不含硫化物及芳香烴類與附加價值高的優勢。

生質柴油主要是由動植物中的三酸甘油脂轉化而來，三酸甘油脂的共同結構是 1 個甘油分子接 3 個脂肪酸。透過加入醇類



生質物有機循環利用示意圖

及觸媒進行化學轉酯化後生成甲基酯，就是俗稱的生質柴油，這技術目前已屬商業量產階段。生質柴油較一般傳統化石柴油熱值稍低，但因含有氧原子，對於完全燃燒更有幫助，可降低汙染排放。

目前全球運輸用生質燃料以生質柴油及生質酒精為主，生質柴油的料源依地區性作物不同而有不同，台灣以廢食用油、美國以大豆、歐洲以油菜籽與向日葵籽、東南亞以油棕與棕櫚為主。近年來，發展第 2 代非糧食作物如麻瘋樹、第 3 代先進生質柴油技術如微藻產油等是科學家努力的方向。

生質有機物在氧氣不足的環境下，經由微生物的作用會進行厭氧消化反應，產

生的氣體一般稱為沼氣。沼氣的主要成分是甲烷、二氧化碳、微量硫化氫等。

含水分較高的生質物如廚餘、牲畜糞肥及廢汙水、汙泥等，較適合採用厭氧發酵技術。此外，未經分類的垃圾若直接掩埋，經過長期微生物作用也會產生大量沼氣。沼氣可用於燃燒產生熱能、透過內燃機發電或應用於車輛燃料，也是生質能源重要的一環。

生質醇類以乙醇（酒精）為代表。生質酒精是一個古老技藝，透過微生物作用把生質物中的醣發酵為乙醇，就是市面上常見的酒。把酒精應用於車輛，必須使用酒精濃度大於 99.5 wt % 的無水酒精，主要是避免油箱與管路腐蝕、燃燒問題等。

第1代生質酒精燃料以含糖或澱粉的農作物為料源，如巴西的甘蔗、美國的玉米等，但大量使用的結果，引起了全球對於生質燃料與糧食間區隔議題的重視。

近年來，採用木質纖維素如玉米稈、稻稈、樹木等為原料，研發產製生質醇類（生質酒精、生質丁醇）的技術，受到各國相當的重視。簡單說，植物中包括木質素、纖維素與半纖維素，透過生物或化學降解後，可把半纖維素解聚為五碳醣、纖維素解聚為六碳醣、酚化物解聚為苯酚類單體，再分離出不同成分進行後續的應用。醣類可提供生物發酵生產乙醇、丁醇做為生質燃料，而醣類及木質素解聚後的產物更可以提供化學工業所需的原料。

自古以來，生質物一向是人類食、衣、住、行的主要來源。目前在發展生質化學品方面，主要以開發新的分子結構、高價值特用化學品，以及開發取代化石產品的大宗生質化學原料為主，如對二甲苯、乙烯、丙烯、乙醇、丁醇、醣等。透過前述生質物製作的基本石化工業原料，可能取代各項原先來自石油原料的各種高分子、塑膠、纖維、樹脂、橡膠、塗料等產品。

2013年3月，《生物基文摘》（*BioBasedDigest*）指出，目前日常生活中

所使用來自生質物的產品，有潤滑油、油品添加劑、包裝材、家用清潔劑、生質燃料、保特瓶、地板與材料、保溫材、護膚美容保健產品等。

## 生質物的永續發展

在大自然環境裡，生質物透過陽光及自身特性，把環境中不同的分子如二氧化碳、水、養分等組合成長為自身結構。

在時代的進步下，科學家嘗試透過不同的物理、化學與生物程序，把複雜的生質物結構降解為特定的成分，做為工業原料與能源。相信在後化石世代裡，生質物將成為永續性的能源與化工原料的重要來源。

## 致謝

本文承蒙經濟部能源局委託執行「103年永續生質燃料關鍵技術研發」計畫（103-D0108），方能順完成，謹此致謝。

---

萬皓鵬

工業技術研究院綠能與環境研究所

---

### 深度閱讀資料

萬皓鵬、李宏台（2010），廢棄物衍生燃料的使用，科學發展，450，34 - 43。

萬皓鵬、張志強、李宏台（2010），生質物快速裂解產油技術，化工技術，208，120 - 131。

萬皓鵬、李宏台（2011），生質物熱化學轉換技術，工程，84，25 - 39。