

能源作物之國外推動經驗與國內發展展望(上)

◎ 農試所所長 林俊義

一、序言

工業革命以來，科技突飛猛進。其中，石油的發現提供了廉價的燃油，加速工業快速升級與人類物質生活大幅提昇；更造就了交通便捷與縮短了世界的距離。然而蘊藏有限之原油終有開採枯竭的一天，尤其每天全球要消耗8千多萬桶的石化原料，原油耗盡日期指日可待。人類在面臨能源日漸匱乏之隱憂下，急需尋求替代能源。此外，石化業之發達對生態環境亦帶來相當大的衝擊，燃燒石化原料大量排放廢氣，造成全球溫室效應與地球大氣臭氧層破裂。為維護地球的永續發展，聯合國氣候變化綱要公約締約國在1997年擬定‘京都議定書’(Kyoto Protocol)，以求降低與改善石化燃料造成的嚴重公害污染問題。我國由於國情特殊，雖然不是‘京都議定書’的締約國，但有感世界能源危機的威脅及地球村生命共同體的重要，於2005年6月20日召開全國能源會議，以尋求替代能源開發方案。本文將介紹世界各國對石油替代能源—尤其是‘生質能源’之開發與應用情形及我國對替代能源之規劃目標與近來的執行情形。

二、能源危機、廢氣污染及替代能源

能源危機：目前地球能源主要來自石油(35%)、天然氣(21.2%)、鈾礦核能(6.9%)及煤礦(23.4%)及再生能源(13.5%)等。石油的蘊藏量(11,477億桶)，依據預估將在41年內開採用盡，其他能源包括天然氣、鈾礦、煤礦之可開採年限則分別為67年、53年及192年。由於石油主要分布於中東地區(圖一)，因此，西元1973年以阿戰爭，便造成第一次世界石油短缺；1980年兩伊戰爭，則導致第二次石油危機；而美國911事件與美伊戰爭均使石油價格大幅上揚。石油原油價格節節高升，今年更曾高漲至每桶

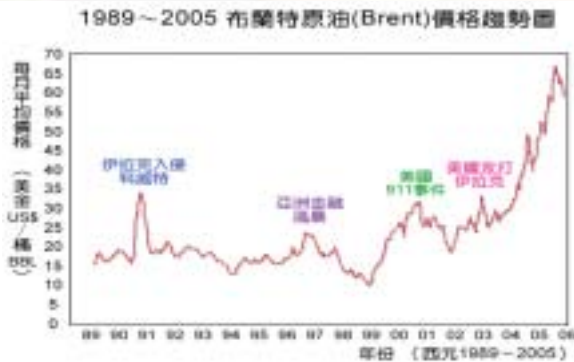


圖一、世界原油分佈圖

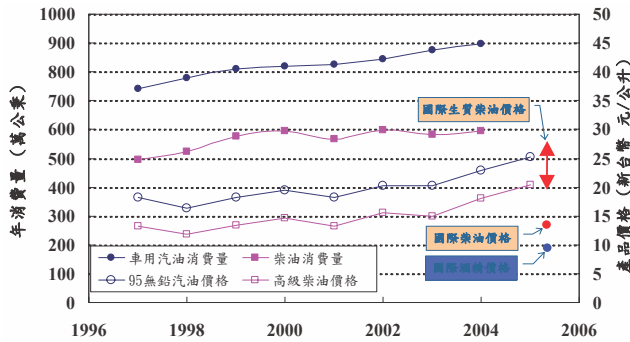
作者：林所長俊義
聯絡電話：04-23302301-200

70美元以上(圖二、三)，所以世界各國無不竭盡全力，設法提高能源的使用效率，或積極開發可以替代石油的其他能源，而生質能源為其中重要項目之一。

廢氣污染與京都議定書：工業革命後地球大氣中二氧化碳的濃度由1880年之290 ppm

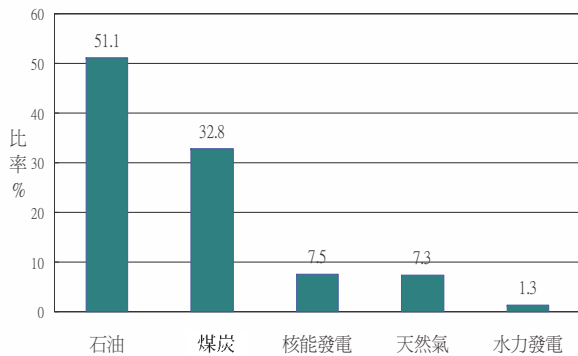


圖二、近十年世界石油原油價格趨勢圖



圖三、我國車用汽油及柴油年消費量及價格變化趨勢

資料來源：經濟部能源局，油價資訊管理與分析系統-能源統計資料 (核能所)
 * 生質柴油價格參考Fuel Ethanol & Biodiesel Report, Vol. 2, Issue 18, Oil Price Information Service
 國際酒精價格參考Ethanol Price Risk Management, 2005 Fuel Ethanol Workshop, Chicago Board of Trade (2005)
 國際柴油價格參考California Energy Commission統計資料(www.energy.ca.gov/gasoline)



圖四、台灣能源比率圖

上升至2004年的380 ppm，此與每天全球要消耗8千多萬桶的石化原料有密切關係。緣此，燃燒石化原料的後果是導致全球溫室效應與地球大氣臭氧層破裂，嚴重破壞地球生態環境。為維護地球之永續經營，「聯合國氣候變化綱要公約(UN-FCCC)締約國」，於1997年在日本京都召開第三次締約國大會時擬定，會中同意要針對造成「溫室效應」、「全球暖化」的人為氣體加以管制，以降低其公害污染。京都議定書(Kyoto Protocol)所列入管制的氣體有二氧化碳、甲烷、氧化亞氮、氫氟氯碳化物、全氟碳化物及六氟化硫等六種燃燒排放廢氣。管制的的第一階段目標是在2008年到2012年之間，受管制的六種氣體的總排放量平均值，要比1990年減少5.2%，而我國現今溫室氣體排放量達全球百分之一，排名世界第22位。

我國之能源現況：我國不生產石油，能源供給以2004年為例，進口能源佔比重98.0%，自產能源僅佔2.0%；按能源別來分，以石油佔51.1%最高，2004年台灣石油總消費量達450億公升(45百萬公乘)，約4,000億元，煤炭佔32.8%居次，再其次依序為核能發電佔7.5%、天然氣(含液化天然氣)佔7.3%、水力發電佔1.3%(圖四)。

替代能源：係指能替代石油等且不會增加二氧化碳排放量的能源。替代能源有兩大類，其一為「核能」，其二為「再生能源」。而再生能源又可分兩種：(1)自然能源：包括太陽能、風力、水力、地熱、潮汐、鹽差等非燃燒與非核能所產生的能量；(2)生質能源：包括固態廢棄衍生物(RDF)、生質柴油(Bio-diesel)、生質酒精(Bio-ethanol)及活性污泥等。

三、生質能源與能源作物

「生質能源」為一種極具開發潛力之再生能源，泛指由生物所產生之有機物質，包括：沼氣、稻殼、有機污泥等農業、畜牧業、工

業、都市廢棄物以及能源作物等，經過焚化、氣化、裂解、發酵等技術轉換成燃油、燃氣及電力等可用之能源(圖五)。由於其兼具能源與環保雙重貢獻，是國際公認最廣泛使用的再生能源，約佔世界所有再生能源應用的三分之二。估計未來台灣地區之應用潛力可達33億公升(3.3百萬公秉)油當量，佔再生能源總潛力的45-52%。

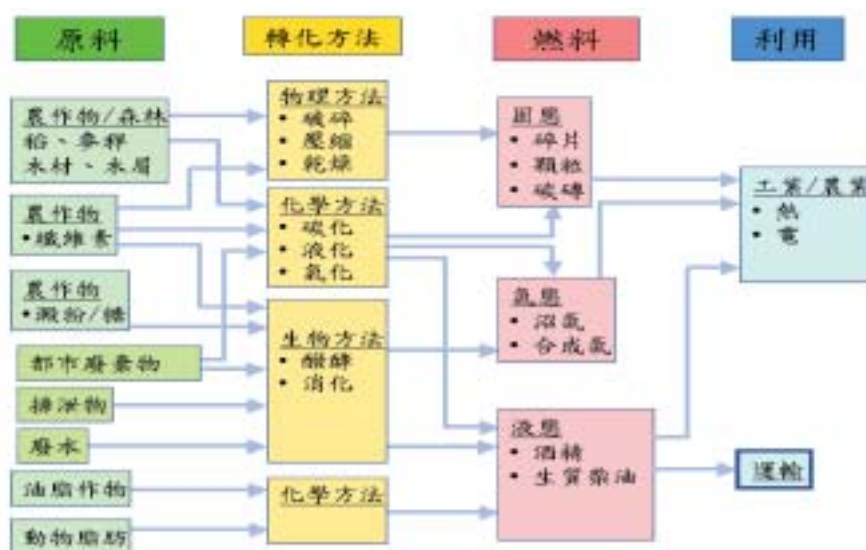
能源作物係指可利用作物生生不息的能量生產方式，將太陽能經光合作用轉化成植物之化學能(燃料之熱能)，此種能量之轉化可在常溫常壓下進行，是一種極具希望與效率的能源生產方法。此種能源具備下列優點：(1)提供低硫燃料；(2)提供廉價能源(於某些條件下)；(3)將有機物轉化成燃料可減少環境污染(如垃圾燃料)；(4)與其他非傳統性能源相比較，技術上的難題較少等。能源作物之種類與用途：能源作物具備之特性包括(1)生長快、生產力高、生育期間短；(2)環境適應性廣、容易栽培；(3)高生質量與轉化能源效率高；(4)生產成本低，搬運容易。目前能源作物包括四大類：

1. 柴薪作物：植體主要做為固體燃料。如中國蘆葦(*Miscanthus sinensis*)，其特點為(1)生

長迅速，一季可生長達3公尺；(2)氣候適應性廣；(3)含水量低約20-30%，可燃燒完全；(4)產量高，每公頃年產44噸；(5)管理成本低廉，可採收多年。

2. 油料作物：主要包括油菜、向日葵及大豆，採收後經酯化製成生質柴油。以大豆(*Glycine max*)為例，其種子含油率約23%，生育期短，僅3-4個月，是十分具潛力的能源作物。

3. 澱粉類、糖料作物：澱粉類作物包括玉米、甘藷及樹薯等，糖料作物則為甜高粱與甘蔗。這些作物透過發酵過程可製成乙醇(酒精)，供作燃料或與汽油混合後，提供汽車使用。而廢棄物如稻桿(殼)、蔗渣(莖葉)、林木廢棄物及廢木屑(塊)亦可提供製造酒精。以甘藷(*Ipomoea batatas*)為例，其產量高，每公頃可達43-49噸，澱粉含量最高達23%，生育日數短，僅150天，風土適應性廣，十分適宜作為能源作物。而木薯(*Manihot esculenta*)作為能源作物特點為：(1)耐酸、耐瘠與耐旱；(2)耐病蟲害；(3)栽培粗放及(4)澱粉含量達20-40%。甘蔗(*Saccharum officinarum*)做為能源作物特點：(1)含糖量達12-15%；(2)屬C4作物，



圖五、生質能源轉化與利用方式流程圖 (資料來源：工研院)

總生質高。甜高粱(*Sorghum bicolor*)做為能源作物特點：(1)莖產量每公頃60-80噸；(2)莖部含糖量高可達18%；(3)種子產量每公頃4.5-6噸；(4)需水量僅甘蔗之1/3；(5)生育期短，僅4個月及(6)以種子繁殖成本低。

4.藻類作物：利用其光合作用分解製氫供作氣體燃料或提煉油脂。

四、國內外生質能源與能源作物之開發現況

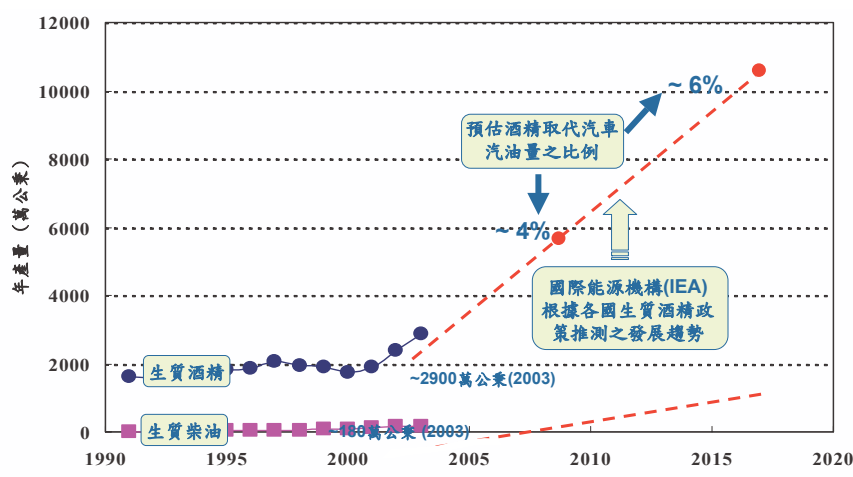
(一)國外發展生質能源現況

國外能源作物種類眾多，主要以生產生質酒精(Bio-ethanol)及生產生物柴油(Bio-diesel)兩類為主(圖六)：(1)生產酒精—糖料及澱粉類作物(如甘蔗、甜高粱、甜菜、甘藷、玉米及穀類等)經發酵生產酒精；(2)生產生物柴油—高油份含量植物(包括大豆、向日葵、花生、油菜籽、棉花籽、胡麻、亞麻、蓖麻、橄欖、油棕、椰子、油桐等)，其抽出的油份經轉酯化反應(transesterification)程序製成燃油，可提供作為燃料油，以替代柴油，而其副產物(甘油)則具有各種商業用途，如化粧品、醫療用品、牙膏以及止咳糖漿等等。

1.生質酒精((Bio-ethanol) 酒精汽油(Gashol)

酒精汽車之使用方法：利用富含澱粉與糖料之植物來生產酒精，其方式有二：一為以無水酒精方式添加至汽油中使用，稱為乙醇汽油(Gashol)，通常在酒精含量<10%狀態下，可不修改引擎即可利用；另一方式為開發酒精汽車，利用20%~25%乙醇汽油，甚至可使用含水酒精。

酒精汽車之優缺點：汽車使用乙醇汽油之優點為可降低一氧化碳(CO)排放量20~30%及降低二氧化碳(CO₂)排放量25%左右，同時還可減少鉛化合物、碳氫化合物及氮化合物等有害物質的排放量。目前使用酒精為替代能源仍有其缺點尚待克服，包括：(1)使用於車輛之成本甚高。其主要因素乃是由於車上須增設數個儲存槽，且燃料槽成本高。另需配備特殊引擎，又因生產量少而價格甚高。此外，酒精對一般金屬容器具有腐蝕性，因此必須採用不銹鋼製燃料系統設備。又因酒精為易燃品，車上須設防火系統。所以車輛的結構較複雜，致使製造成本提高，而其運輸成本高，保險費亦高。(2)基礎設備成本高。須設個別的專屬加油系統設備以及特殊儲存槽與洩漏測定器，室內儲存必須裝設加強通風設備。在加油區須設自動防火設施。所有加油、修護以及油料儲存區



圖六、國際發展生質能源~生質酒精、生質柴油之趨勢

資料來源：International Energy Agency, Biofuels for Transport: An International Perspective (2004)(核能研究所)

的電路有關設備必須為防爆型設施。(3)安全性低。甲醇蒸氣比空氣重，閃火點(Flash point)較低。燃燒時其火焰係無色，不易查看及防範。

巴西是目前為全世界利用酒精能源最有名的國家(表一)，也是目前世界上唯一使用「乙醇汽油」作為汽車燃料的國家，更是世界上最早通過立法手段強制推廣「乙醇汽油」的國家。該國主要利用甘蔗，取其糖份來製造酒精。早在1931年，就規定所有的汽油都必須添加2~5%的無水酒精；1966年提高到10%，1981年提高到20%，1993年提高到22%，2002年將上限提高到25%。該國於1973年開始推動酒精燃料計畫，於1975年開始生產酒精，初期以20%之體積比率添加於汽油中；1979年酒精汽車問世，以含水酒精為燃料，1984年酒精汽車佔94.4%。1991年再次頒佈有關法令，規定在全國所有加油站的汽油中必須添加20~24%的無水酒精。並規劃將來朝向全面以『酒精』作為『汽油』的替代能源之目標邁進。

1995-1996年間巴西全國酒精生產量為126億公升，76%為含水酒精(濃度95%)，24%為無水酒精，其中之97-98%用做汽車燃料，其餘使用在工業上。爾後，油價下跌及糖價上升，在1997年酒精汽車產量因而跌至谷底，其比例僅為0.06%。2000年時，酒精汽車銷售量僅佔巴西全國汽車銷售總量的0.69%，而2003年時，酒精汽車之銷售量則攀昇為

6.9%，約達8萬輛。2003年3月，福特汽車公司巴西分公司推出首輛『汽油、酒精雙燃料車』，既可單獨使用汽油或酒精，亦可使用任意比例的汽油和酒精混合燃料，此類汽車的功率、價格與同類型普通汽車相當，2004年銷售總量達25萬輛以上。此外，巴西的「大眾」、「通用」和「飛雅特」公司都在2003年推出可以使用任何比率酒精與汽油混合燃料的汽車。如今巴西的汽車無須任何改動就可以使用添加10%無水酒精的乙醇汽油，同樣多的乙醇汽油可以多跑4~5%的路程。

巴西汽車使用乙醇汽油除了減少環境污染外，尚可促進農業生產，增加就業機會，經統計約增加100萬個直接就業機會和50萬個間接就業機會，其中有62萬人種植甘蔗，共節省了465億美元進口石油。因而使巴西的甘蔗種植、酒精生產和酒精利用技術，在世界上居於領先地位。然近年來，巴國因製糖(轉化為酒精)原料(甘蔗)短缺，目前正加速進行利用甜高粱生產酒精的開發研究。

美國於1978年頒佈『能源發展法案』，預定生產230-3200萬公升(60~480萬加侖)的酒精燃料。美國能源部預計以玉米及甜高粱為生產能源之主要原料，生產酒精燃料；同時，為推動使用酒精來代替汽油，並訂定許多優惠稅法。此外，2003年美國國會亦已立法要求在未來10年中，每年在汽油中添加190億公升(50億加侖)的玉米乙醇。

表一、國際使用酒精汽油之現況

國家	酒精汽油規格	2004酒精年產量 (萬公秉)	生質原料	備註
美國	E10, E85	1338	玉米	2004年17州實施潔淨能源法案
巴西	E22, E100	1510	甘蔗	1975年頒布國家酒精計畫
中國	E10	365	穀類、甘蔗、紙漿	-
歐盟	E5	190	小麥、燕麥、甜菜	2004年實施酒精市場法規
泰國	E5	28	木薯、甘蔗、稻米	2007年推行E10酒精汽油
日本	E3, E10	12	廢木料	1983年實施燃料酒精計畫 2004年自巴西進口14.9萬公秉酒精

歐盟於1993年大力推動乙醇汽油計畫，要求成員國在汽油燃料中添加5%酒精。英國、德國、法國、義大利等主要歐盟國家都制訂了相應的替代能源計畫，以甜高粱及穀類作物生產酒精能源。歐洲其他國家，如奧地利則利用過剩之小麥自行釀製酒精。



資料來源：台灣新日化公司提供

圖七、大豆原油轉換生物柴油產品



圖八、生質柴油之成品



圖九、生質柴油車加油

在澳洲方面，澳大利亞利用甘蔗、小麥及玉米等作物生產能源，或由木材加工副產品等原料釀製酒精。在紐西蘭方面，利用甜菜、玉米製造能源，種植面積預計每年可達70~130萬公頃。

南非則擬利用樹薯及甘蔗為原料，進行龐大植物能源發展計畫，將在能源植物栽培中心地區，興建13座釀造酒精加工廠，預估年產酒精約520億公升(13,700百萬加侖)。此外，向日葵油已完全取代了柴油供曳引機使用。

在亞洲方面，泰國利用生產過剩之植物原料，包括樹薯、玉米、高粱、甘蔗、糖蜜及米等製造酒精。菲律賓則以甘蔗為原料生產酒精，1989年生產950百萬公升(244百萬加侖)，該國並已將椰子油與柴油混合成為椰子柴油(cocodiesel)，供軍方車輛使用。

除上述諸國外，蘇丹、肯亞、多明尼加及牙買加等國，亦積極地發展生產酒精之生質能源。

2. 生物柴油(Bio-diesel)(圖七、八、九)

生物柴油之合成與優缺點：主要是將動、植物油脂經由轉酯化反應生成甲基酯(methyl ester)。其優點為(1)因其燃燒特性和石化柴油相近，可以任意比率與石化柴油混和使用。(2)不需對柴油引擎進行任何調整，生物柴油可直接取代石化柴油做為柴油車的燃料；(3)其閃火點較石化柴油高，其運送與儲存的安全性亦較高。(4)生物柴油燃燒更完全，且廢氣中不含硫，可有效改善柴油引擎的廢氣排放品質，是一種優質與環保的再生能源，能減低空氣污染，符合永續發展的宗旨。有關生物柴油的轉化合成，如將100公斤之植物油與10公斤之甲醇(或乙醇)混合，以氫氧化鈉或甲醇鈉(Sodium methoxide)做為觸媒(鹼或酸劑)，大約於63℃混合攪拌予以交酯化反應2小時，即可得到100公斤生物柴油及10公斤之甘油。

生物柴油之特色：(1)十六烷值(cetane number)較高。(2)無毒性、可再生(renewable)，而且生化可分解性(Biodegradable)良好，可避免污染空氣，因此對人類健康與生態環保性均甚良好。(3)閃火點(Flash point)較高，為118℃(石化柴油為52℃)，因此安全性佳。(4)不含芳香族烴類成份，不具致癌性；此外，亦不含硫、鉛、鹵素等有害物質。(5)運轉效率與石化柴油類相同，而無不及。(6)不需修改柴油引擎，可直接添加使用；同時加油站無需另增設加油設備、儲存設備、保養設備，以及人員的特殊技術訓練等。(7)可做為添加劑促進燃燒效果，而其本身亦為燃料，因而具有雙重效果。(8)為密閉型的碳循環(Carbon cycle)，可永續運用，並改善柴油引擎排放廢氣的品質。其排放廢氣中之黑煙、碳氫化物、微粒子以及一氧化碳量甚少，有利生態環保(包括人身健康、溫室效應等)。(9)可替代部份石化柴油，節省石油進口量及外匯，自行設廠生產又可增加就業機會，並可以“回收食用油”做為原料，以利廢棄油脂的資源再利用化，一舉數得。(10)目前生物柴油業經美國食品藥物管理局(FDA)及美國環保署(EPA)認可，為清潔環保新替代燃料或燃料添加劑，是未來替代燃料之主流。

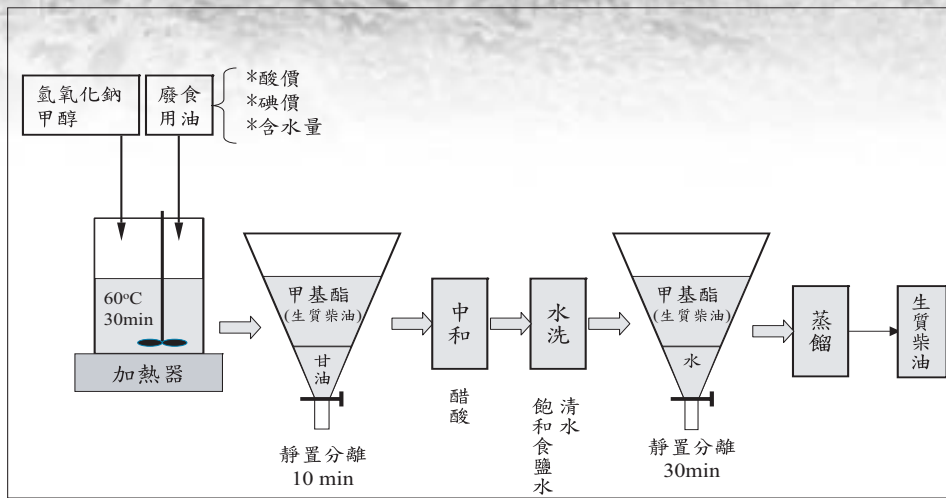
歐盟為最早大力生產與使用生物柴油的區域，在1994年已生產22萬多公噸生物柴油，以義大利，法國、德國為主。到1997年時，全球的生物柴油生產量約為每年70萬公噸，其中58萬公噸係由歐盟所生產，佔有率約為85%。

法國將150萬公頃之食用農場用地轉作油菜，其生產之生物柴油可替代該國5%石化柴油，提供公車、卡車及發電廠使用。義大利則從1991年起，有19個都市的公車開始使用生物柴油，已進行52萬公里的運轉。而德國於1996年時，全國已設有500個生物柴油加油站，可全面供應，其消費已達8,000公噸。在

奧地利，生物柴油則用於農業及林業設施，以及湖泊與河川的休閒遊艇。歐盟並於1996年在奧地利首都維也納召開第二屆歐洲生化燃料(包括生化柴油、生化酒精、天然氣等)研討會，計有29個國家400多位專家參與討論，並提議歐盟各國擴大利用休耕地，以增產‘菜籽油’供為製油原料，到2005年要達成5%市場佔有率的目標。

美國主要以大豆油生產生物柴油，1992年生產量為136,000公升，1999年遽增為2300萬公升，主要供州政府的公車與卡車使用；2002年生產量達3,000萬公升。美國在1970年認可第一個聯邦清潔空氣措施，制定油煙廢氣排放標準。1980年代，訂定國家能源政策，以促進生產‘可再生兼可生物分解的資源’為目標。1992年，頒佈能源政策條例措施法案(EPACT, Energy Policy Act)，規定政府機關必須購置可採用替代燃油的車輛，並且設立專款購置市區公車與校車，並大力宣導生物柴油等替代燃油的優點。1993年規定所有行駛高速公路之柴油車輛(約需760億公升燃油)必須採用‘清潔的燃油(clean diesel)，規定硫含量應在0.05%以下，十六烷值最少為40。然而，1993年時之生物柴油價格約為7.6~9.5美元/公升，遠比2.5~2.65美元/公升的石化柴油為昂貴，致無法吸引消費者使用。1995年美國能源部(U.S. DOE)正式公佈‘清潔生物柴油’為替代燃油；至2004年通過生物柴油減稅優惠案，消費稅的優惠額為‘每加1%替代燃油，優惠一美分(One penny)’。2005年，全美國有400個以上的車隊使用替代燃油，大約有200個加油站供應此種清潔替代燃油，而有1,000個以上的石油經銷商在全美國各地均予銷售。

目前，全世界的生物柴油年產量已超過250萬噸以上，其中歐洲佔80%以上，而德國是生質柴油發展最先進的國家，產能超過110萬公噸/年。綜合言之，歐洲地區主要以‘菜



圖十、廢食用油轉化為高級柴油之過程 (資料來源：台灣新日化公司提供)

籽油’為能源原料，而美國地區以’大豆油’為原料，日本則以’廢食用油’為原料，轉製成生質柴油，分別供都會地區之公共汽車、計程車或是環境敏感地區(例如國家公園)的交通運輸工具使用(圖十)。

(二)國內發展生質能源與能源作物現況

我國發展生質能源與能源作物有多重目的，除(1)國內不生產石油需仰賴國外進口與國際石油日益匱乏將面臨能源危機，(2)迎合國際潮流、重視生態環保，進行二氧化碳減量行動等原因外，(3)種植能源作物可以解決國內每年有24萬公頃的水稻休耕地問題，同時增加農業產值；且(4)生產生質能源需工業配合，能開創就業機會，降低失業率，均為能源作物在國內備受重視的原因。

國內發展生質能源起步較晚，我國於1998年5月26-27日召開全國能源會議，研討國內發展與推廣再生能源的執行方向，會中討論六項重大議題，包括：(1)京都議定書生效後整體策略方向，(2)能源政策與能源結構發展方向，(3)綠色能源發展與提高能源使用效率，(4)京都議定書生效後產業部門因應策略，(5)京都議定書生效後運輸部門因應策略，及(6)京都議定書生效後住商部門因應策

略。獲得的具體結論是：在發展綠色能源方面，開發與推廣再生能源及提高能源效率，冀望於2010年時，再生能源可佔總能源的3~5%。其中在推廣酒精汽油方面，預定2010年推廣100~300萬公秉，2015年200~600萬公秉，到2020年時推廣300~900萬公秉；在生質柴油方面：2010年之目標為10萬公秉，到2020年時，達到15萬公秉。在推動區域性廢棄物生質能發電方面：於2010年達74萬瓦之目標，2015年達85萬瓦，到2020年時達103萬瓦，冀望其佔總發電裝置容量1.4%。

經濟部能源局指出，現階段在台灣地區生物柴油之可能原料包括黃豆油及回收廢食用油。以目前台灣地區消耗之動物油脂及蔬菜油一年約77萬噸，保守估計每年具有生產近8.5萬公噸生物柴油之潛力，約為7.9萬公秉油當量，每年可降低CO₂排放量22.5萬公噸。不僅有助於解決廢食用油回收處理的問題，亦可保障一般消費者免除回鍋油對身體健康之困擾。在2004年10月初，於嘉義縣民雄工業區舉行全國首座’生質柴油示範廠’之啓用，每年產量約3,000公噸，如以三班制可年產10,000公噸，主要以廢食用油作為原料，產品將可提供一般柴油車輛及農機具使用。