

研討論文系列 97-6

台灣推動生質能應該考量的因素

蕭代基、林益豪

中華經濟研究院 編印
中華民國九十七年三月

台灣推動生質能應該考量的因素

蕭代基 林益豪

中華經濟研究院

2008年3月

一、前言

二次大戰後石油化學工業的興起，人類真正開始大量享受石油資源帶來的好處，並將世界文明與經濟推上歷史的高點。不到百年後的今天，我們所面對的卻是石油稀缺壓力上升、油價高漲與環境惡化等問題，而這些問題都是當初所始料未及的。近來為了解決能源安全與全球暖化的問題，諸多國家寄望以生質燃料（biofuels）來延緩石油所產生的問題；然而生質燃料的使用會不會和化石能源一樣，潛藏著未知的問題，是我們必需在全力發展之前，要瞭解的。

一般人認為生質燃料最大的優點在於其「碳中和」(carbon neutral)的特性，因為燃燒生質燃料所產生的二氧化碳是植物行光合作用吸收大氣中的二氧化碳而來，所以其二氧化碳的排放量為「零」。因此一般人認為可以在不增加二氧化碳排放的情況下，透過生質燃料的使用獲取人類所需的能源。但是在生產與使用生質燃料的過程，一定要投入且會消耗不少能源，因此生質燃料並不具「碳中和」的特性。近來研究更指出，即使生質燃料本身的二氧化碳減量貢獻是正的，但是不恰當的生產與使用生質燃料卻可能引致更大的環境問題，例如，為種植生質燃料作物而破壞熱帶雨林、釋放林下腐植質與泥碳土蓄積的大量二氧化碳、和犧牲生物多樣性。

能源安全是發展生質燃料的另一項理由，大多數國家都得依賴進口能源，所以許多國家希望藉由本地生質燃料的發展以降低部分的進口依賴。可是至今為止也只有土地資源豐碩的巴西屬成功案例，其他即便是生產生質酒精的最大國—美國，其酒精工業也是靠政府補貼所撐起。因此就當前的技術而言，生質燃料是否真的具有產出的價值，政府是否應永久補貼生質能源，是我們必須深思的問題。

油價的高漲是另一個扶助生質燃料發展的主因。但是當補貼造成作物轉製燃料所獲取的報酬高於當成糧食的價格時，就會造成糧食和燃料競爭搶料的情況發生，進而可能導致糧食供需失衡，其所造成的民生危機將難以估計。

「天下沒有白吃的午餐」之定理再一次獲得印證，生質燃料的發展雖然有其效益存在，但卻也需要付出許多代價，因此要全力發展生質燃料必須於事前詳盡的考量所有可能的影響，評估其成本與效益，再行決策，避免在解決問題的同時，又製造出其他更大且未知的問題。

本文首先簡介生質能的特性與台灣發展生質能的現況，接著提出一個生質能之永續性評估架構，全面的從經濟、社會和環境三個方向探討生質能發展是否符合永續性，然後根據此評估架構，依據國際文獻研究成果，評估生質能發展之永續性，最後為結論與政策建議。

二、生質能簡介

生質物 (biomass) 在人類的歷史上扮演了包括，食物、飼料、原料、纖維、肥料和燃料等重要角色，人類的生活更可以說是由生物質撐起的；而以生物質為燃料所獲取的能源稱之為生質能。生物質為地球自然活動中產生之含碳有機物，為最廣泛存在的能量來源之一，主要原料來源分類如表 1。雖然生物質廣泛的存在生態體系內，但所有的生物質所含有的能量都相當的稀少，更嚴謹的說來應該是生物質所含的能源密度皆很低，且含水量高，不易運輸，所以除了開發中國家常使用生物質來炊事或低溫使用之外，生物質已經不能滿足現代社會對能源的需求。

不過現代化的技術已經能夠利用熱轉換、生物轉換、化學轉換或物理轉換，將生物質轉變為更有用的能源。概略的能源轉換系統如圖 1 所示，透過這樣的轉換可以將生物質轉換成熱能、電能、運輸用的生質燃料 (biofuels; liquid biomass) 和化學品。

熱轉換包括直接燃燒 (combustion)、氣化 (gasification) 或裂解 (pyrolysis)，直接燃燒可以將生物質轉換成熱能和電能，是最廣泛使用的技術。雖然直接燃燒在熱電共生 (combined heat and power, CHP) 的系統可以將能源進行相當有效率的運用，但大部分的開發中國家直接燃燒使用生質能的設備都相當簡當，所以能源轉換效率都很低，而造成能源的浪費。透過氣化或裂解技術除了可以將生物質轉換為能源密度更高，且方便運輸的燃料氣體或液體燃料，也可以將生物質轉換成有用的化學產品。

生物/化學轉化技術，係透過發酵與分解等化學或生物轉換程序，將生物質能源轉換成能源密度更高，且方便運輸的液體或氣體燃料，如生質酒精、氫氣等。其他還可以透過物理轉換的技術，將生物質透過脂化的程序，將生物質轉化為諸如菜籽油類的生質柴油。

其實，人類每天透過飲食，經由消化道攝取能量，就是獲取生質能的一種方式。人類利用生質物做為生質燃料與化學原料的歷史也由來已久，早在發現火以來，人類即已知利用生質物取暖與炊事；到了十九世紀，人類也懂得以生質物為原料來製造化學產品。

1820 年代，美國的發明家 Samuel Morey 即以酒精和松節油為內燃機的燃料；1876 年 Nicholas Ottou 所發明的奧圖循環引擎也以酒精為原料；其後，以發明家 Rudolf Diesel 命名的柴油引擎也以花生油為燃料；到了 1908 年，福特 T 型汽車則為第一部可以使用酒精汽油混合燃料之運輸工具。儘管以生質酒精和

生質柴油為運輸燃料的歷史由來已久，但其高生產成本的特性使得 20 世紀初期燃料引擎的使用並不普遍。直至 1930 年代石化工業的興起，當便宜的液態化石燃料出現時，汽車才成為人類活動中不可或缺的交通工具。

因為價格低廉，所以石油很快的就取代液態生質燃料所扮演的角色；因為供應充足，所以石油廣泛使用於各種用途。然而近來對石油蘊藏量的疑慮、高漲的油價與全球暖化的危機，讓我們開始尋找更充裕、更乾淨的石油替代品，尤其是那個曾被石油所替代掉的生質燃料（生質酒精與生質柴油）。而在這個對石油蘊藏量存疑的年代，生質燃料真的有機會取代化石能源嗎？與當代的化石能源相比，生質燃料有機會成為主要能源嗎？若然要發展生質能，我們該如何做才不會像化石能源一樣帶來危機呢？

三、台灣發展生質能的現況

行政院為加強保護環境生態、保障社會公平正義、促進經濟發展、建設綠色矽島，於民國 1997 年設置永續發展委員會。永續會於 2000 年以永續環境、永續社會、永續經濟為發展願景，擬定「二十一世紀議程—中華民國永續發展策略綱領」，做為台灣推動永續發展之策略依據。接著於 2002 年起擬定「永續發展行動計畫」，並在 2006 年完成包含「推動再生能源」在內的工作項目。

「永續發展行動計畫」確立制訂發展再生能源專法之政策。2005 年行政院版之「再生能源發展條例草案」所指再生能源種類包括：太陽能、生質能、地熱能、海洋能、風力、非抽蓄式水力、或其他經中央主管機關認可永續利用之能源；除此之外，以再生能源為能量來源的氫能及燃料電池也含括於草案內。¹ 草案明訂透過補助、躉購、共同基金及其他政策優惠等，鼓勵再生能源發電投資與產出，並規劃未來再生能源發電裝置容量占全國總發電裝置容量達 12%。

2005 年第二次全國能源會議，將未來再生能源發電目標設定於 2010 年達到 513 萬瓩，2020 年達到 700~800 萬瓩，2025 年達到 800~900 萬瓩，計畫於 2010 年再生能源使用量占總能源 3%~5%或占總發電裝置量的 10%(表 2)；並訂定酒精汽油發展目標為 2010 年 100-300 萬公秉、2015 年 200-600 萬公秉、2020 年 300-900 萬公秉；生質柴油發展目標為 2010 年目標 10 萬公秉、2020 年 15 萬公秉。

迄今政府已完成包括太陽能熱水系統、太陽光電及風力發電等多項推廣措施，其中「太陽能熱水系統推廣獎勵要點」對於購置者補助購置費用 15~20%，「風力發電示範系統設置補助要點」及「太陽光電發電示範系統設置補助要點」

¹ 行政院 94 年版「再生能源發展條例草案」並未明訂燃料電池所使用之氫能來源，因此可再生性尚有爭議之處。

至多提供設置費用 50%之高額補助，「台灣電力公司再生能源電能收購作業要點」對再生能源電能提供每度電新台幣兩元的收購費率。此外，「促進產業升級條例」對於購置再生能源設備者，亦有投資抵減營利事業所得稅 10~20%、加速折舊以及低利融資等相關獎勵優惠之規定。

生質燃料主要由能源局、農委會與環保局合作推廣，首先於 2004 年起由環保署推動「生質柴油道路試行計畫」，每年編列一億元補助各縣市政府之垃圾車添加使用生質柴油。農委會則於 2005 年成立「能源作物產銷體系」，並選定大豆、玉米與油菜之能源作物進行推廣試種。在 2006 年行政院第 3010 次院會通過經濟部提報的「發展綠色能源－生質燃料執行方案」後，更決議分階段進行生質柴油與生質酒精的推廣，預期 2010 年生質柴油與 2011 年生質酒精可各供應 10 萬公秉（表 3，表 4）。

生質柴油的推動目標分四階段進行，第一階段：推行「能源作物綠色公車計畫」由政府補助，鼓勵公營大眾交通運輸車輛添加使用 1%至 5%的國內自產生質柴油；第二階段：於 2007 年 7 月推行「綠色城鄉計畫」，補助石油煉製業者與加油站業者於市售柴油中添加 1%的國內自產生質柴油；第三階段：預計 2008 年 7 月起，強制要求市售之柴油必須添加 1%的生質柴油，並開放國外料源的進口；第四階段：預計 2010 年開始，將市售生質柴油的強制添加比例提高至 2%，並不限原料來源。

生質酒精的階段目標，第一階段：於 2007 年 9 月施行「綠色公務車先行計畫」，補助台北市行政區域內之公務車使用 E3 酒精汽油，並優先使用國內料源；第二階段：於 2009 年起推行「都會區 E3 酒精汽油計畫」，補助北、高兩市全面供應 E3 酒精汽油，並優先使用國內料源；第三階段：預計於 2011 年起，全面要求市售汽油必須添加 3%的生質酒精，料源則不設限。

四、生質能之永續性評估架構

全球暖化與化石能源耗竭是各國積極推動再生能源的主因，會有這樣的問題產生，皆可歸因自工業革命以來，人類持續性的、以不永續的方式消費自然環境資源。人類消費大量的化石能源是導致全球暖化最主要的成因，雖然現階段我們圖得了一個世紀的高品質生活，卻可能永遠犧牲了後代子孫的福祉。因此，有人寄望以具有碳中立性的生質能來取代部分的化石能源，試圖延緩全球暖化的發生。

然而，以生質能取代部分化石能源會是延緩全球暖化比較好的方式嗎？即使生質能在全球暖化上可以有所貢獻，但我們能確保使用生質能不會潛藏另一

波與全球暖化相當且未知的危機嗎？因為還有許多未知的問題，所以在大量使用生質能之前，應當對其可能產生的影響進行詳盡的研究，我們才能以最永續的方式來生產與消費生質能。本節我們參考蕭代基等（2002）、Munasinghe 與蕭代基（2001）、駱尚廉與蕭代基（2007）、和 Munasinghe（2007），建立一個永續性評估架構，用以評估發展生質能對經濟、社會及環境等方面的影響。

1. 永續能源發展之經濟、社會及環境面向

永續發展的概念主要奠基於數十年來經濟發展的經驗，除了早期將目標著重於經濟與社會的發展外，1980 年代早期開始，有愈來愈多的證據顯示環境破壞是經濟發展的主要障礙。因此，永續發展的概念也逐漸演變成爲包含經濟、社會及環境等三個面向（如圖 2）。

實現永續經濟指的是在達到所得最大化目標的同時，維持產生這些效益的資本（包括人造資本、自然資本與人力資本等三種）之存量。在稀少資源的使用上，存在著最佳化和經濟效率的概念，然而問題在於何種資本需要保持？其可替代性如何？以及這些資產，特別是生態資源的效益如何評估？不確定性、不可逆性和災難性的崩潰等問題都是困難的課題。

永續社會的觀念是以人爲本的，尋求保持社會和文化系統的穩定性，減少破壞性的衝突。代內公平（特別是消彌貧窮）是永續社會的一個重要概念。所需要做的是保持全球文化的多樣性，並且善用劣勢文化中有關永續的本土知識。而爲了社會的永續發展，現代社會需要鼓勵多元化的社會型態以及將基層的民眾參予納入更有效的決策過程之中。

永續發展的環境觀點強調的是生物和物理系統的穩定性。對於整個生態系的穩定性來說，最重要的是關鍵子系統之生存力，因此生物多樣性的維持是一個關鍵因素。須強調的是如何去保持這些系統適應各種變化的回復力（resilience）與調適能力，而不是維持某種理想的靜止狀態。

因爲必須均衡考量到永續發展的三個面向，因此協調各種概念，並使用它們作爲實現永續發展的方法是一項艱巨的任務。這三種面向之間的相互作用也是非常重要的，諸如經濟與社會層面的相互作用帶來了如代內平等（所得分配）和消除貧窮目標等問題；經濟與環境間相互作用產生了一些有關效益評估和將環境影響內部化的新概念；而社會和環境之間的聯繫也使代際平等（後代的權益）和民眾參與等議題引起關切。

永續發展須以配套的措施或行動，用來實現以改善人類福祉爲依歸的既定目標。事實上，並不是所有改善人類福祉的活動都可以被視爲是永續的，只有那些符合永續發展原則的活動才是可長可久的永續措施。

2. 整合型永續發展決策評估架構

永續發展必須在經濟、社會和環境三面向的架構內進行討論，並且此三個面向都必須得到均衡考量。然而，大多數的發展決策仍基於經濟效率準則，所以需要建立一個能綜合考量經濟、社會及環境影響的整合型永續發展決策評估架構，其步驟如下：

- (1) 確定計畫或政策的經濟、社會及環境影響，採取的評估方法有環境影響評估與行動影響矩陣（action impact matrix）；
- (2) 對經濟、社會及環境影響進行效益與成本評估，所以必須進行成本效益分析；
- (3) 重新設計計畫和政策，以減少不利的經濟、社會及環境影響，因此，可轉向永續發展的道路。

以下應用行動影響矩陣與成本效益分析於生質能發展政策之永續性評估。

3. 行動影響矩陣

各種政策或計畫所造成的影響應先透過行動影響矩陣，詳盡地列舉計畫可能造成的影響，幫助對相關部門之間關聯性的認知。

表 5 列出推廣生質酒精與生質柴油可能對永續發展相關議題的影響，包括環境、經濟與社會等三層面。

4. 社會成本效益分析

社會成本效益分析是一個可以於公共政策決策的工具，對於發展生質能這類的社會公共事務之決策，無論社會中誰得到這些效益或誰承擔這些成本，都應該將這些對社會所導致的所有效益和成本納入考量，所以又稱為「社會成本效益分析」。

為進行社會成本效益分析，首先必須確定本政策相關之成本與效益的項目，接著衡量各項目的成本與效益、計算成本與效益的現值，最後比較各替代政策或計畫之淨效益現值。

表 6 是台灣地區休耕地轉作能源作物政策所需考量的社會成本與效益項目。成本效益分析是評價一個計畫或政策對整個社會的總影響，所以必須將內部效果與外部效果皆納入考量，因此在成本面必須考量內部成本與外部成本，在效益面也包含內部效益和外部效益。

五、發展生質能必須考量的因素

生質能的發展不只是溫室氣體、能源安全與農業經濟的問題，更牽涉許多環境、經濟與社會問題，而這些都是足以影響永續發展的可能性。所以要發展

生質能，就必須詳盡的將這些問題納入考量。

根據上節建立之生質能發展政策之行動影響矩陣表與成本效益分析表，以下詳細評估近來最受注目的液態生質燃料—生質酒精與生質柴油，在能源安全以及環境與社會方面的影響。

1. 能源安全

由於台灣地區缺乏化石能源礦藏，有 98% 的能源需要依賴國外進口，因此冀望藉由國內自產生質能的發展，取代部分能源進口的依賴。因此，我們首先審視生質能的發展在能源安全上可能的貢獻。

綜觀國際對能源安全的定義，主要宗旨為「提供價廉而量足的能源供給」；所以我們從生質能的能源淨產量的觀點，來探討生質能的能源供給量，與從國際生產生質能的經驗來探討對能源價格的影響。

(1) 能源平衡 (energy balance)

雖然生物質廣泛的存在地球上，但任何型態的生物質其能源密度都很低。即使可以透過現代化的技術將生物質轉化成能源密度較高，且方便運輸與使用的生質燃料；但是這類生質燃料的能源效益卻和原料的選擇與其生產過程密切相關。評價生質能燃料之能源效益 (energy performance) 的準則主要有能源投資報酬率 (energy return on investment, EROI; energy ratio, ER) 和能源生產效率 (energy efficiency, EEF)，其定義如下：

$$EROI = \frac{\text{生質燃料能源含量}}{\text{生產生質燃料所需的能源投入量}}$$

$$EEF = \frac{\text{生質燃料的能源含量}}{\text{生產生質燃料所需的能源投入(包括原料的能源含量)}}$$

EROI與EEF的差異在於，是否將生產生質燃料所需之原料的能源含量納入計算，所以EROI的值可以大於1，但EEF的值一定不會大於1；且根據熱力學的定義，部份原料所含的能源會在生產過程中被損耗掉，所以計算的EEF都會小於1。

若以EROI衡量，則值1為重要的能源產出效率指標，當EROI大於1時，代表生產生質燃料所需的能源投入小於能源產出，所以生質燃料具有能源產出的效益；反之若EROI小於1，則生質燃料不具有能源產出效益。另一個衡量方法「EEF」其值一定小於1，雖然無法像EROI一樣評斷生質燃料是否具有產出效益，但卻是

衡量能源轉化效率相當有用的指標。

(2) 能源產出化石能源投入比

考慮發展生質能的目的在於延緩氣候變遷與取代化石能源使用，故只計算化石能源投入的能源產出化石能源投入比（fossil energy balance, FEB）是簡易的評估方法。表 7 比較了不同生質燃料之 FEB，其顯示纖維素酒精的評價最高，其值最高可達到 36；其次為以棕櫚油為原料的生質柴油，其值最高可到達 9；而甘蔗酒精的 FEB 雖然也可到達 8，但普遍來說作物酒精的 FEB 是較低的。

一直以來能源作物轉製生質燃料最備受爭議的地方在於，生質燃料是否具有正的能源淨產出，即能源產出是否大於能源投入。這樣的爭議主要基於「化石能源替代力」與「生質燃料的經濟成本」。化石能源替代力即指，生質燃料是否具有替代化石能源的潛力，並可以取代多少化石能源？經濟成本即指，生產生質燃料需要耗費多少社會成本，而這樣的成本很顯然地與生質燃料的化石能源替代力有直接的關係，當生質燃料的 FEB 越高時，代表所能獲取的淨能源越多，不但可以替代更多的化石能源，還可以賺取更高的報酬；反之，諸如大豆、油菜籽、向日葵、蓖麻、小麥、甜菜、玉米和甜高粱這類的能源作物，其 FEB 值雖然可以大於 1，但也與 1 相去不遠；因此能從中獲得的淨能源相當有限，若進一步考量能源以外的投入成本之後，其高額的生產成本則限制了生質燃料在市場上的競爭力。

(3) 影響 EROI 的因素

EROI 評價的差異受到作物種類的生長力、收穫量、肥料使用率、殺蟲劑使用量、轉換技術、副產品的評價、及涵蓋的能源投入產出項目之影響。例如，熱帶地區的植物在較理想的環境下成長，有充足的陽光和雨水，並使用較多的勞力來取代機械與化石原料投入，因此通常有較高的 EROI。又例如，利用轉脂（transesterifying）將植物油提煉成生質柴油的技術就相對於澱粉水解（hydrolysing starches）與糖類發酵（fermenting sugar）成酒精的技術要容易的多。

副產品的評價與能源的投入產出涵蓋項目對 EROI 的計算結果也會產生相當大的影響。例如，Pimentel（1991，2001）的研究結果總是顯示，玉米酒精的 EROI 小於 1，約為 0.75，即生產所獲得的酒精能量低於生產所需的能量投入；Pimentel（2003）的研究仍認為生產玉米酒精的能源投入大於能源產出。Farrell et al.（2006）與 Quirin et al.（2004）則指出，Pimentel 給予副產物的評

價太低，所使用的資料也較舊，且 Pimentel 認為勞動所消耗的食物也必須納入能源投入項目之一，導致 Pimentel 的研究總是獲得較低的 EROI。

勞動所消耗的食物符合根據機會成本的概念，因為一位勞動者飲食取得能源之後，不是只有生產生質能一項工作選擇，他有許多工作機會，因此勞動所消耗的食物也是生產生質能的能源投入項目之一。

Shrestha 與 Van Gerpen (2007) 則於文章中指出，能源投入產出涵蓋項目對 EROI 的計算結果有相當大的影響，他說明 Ahmed et al. (1994)、Hill et al. (2006)、Pimentel and Patzek (2005) 與 Sheehan et al. (1998) 作者計算 EROI 方式的差異，並舉例指出計算方式的不同可能會造成 EROI 計算值最高約達 3 倍的差異。

(4) 生質燃料生產成本

生產成本高於化石燃料是生質酒精與生質柴油另外一個備受關注的議題，生質燃料的高成本除了顯示較差的市場競爭力之外，更代表生質燃料無法在能源安全上達到穩定或抑制化石燃料價格的作用。Doornosch 與 Steenblik (2007) 也指出，能源作物的價格與化石燃料價格呈正相關，更限制了透過生質燃料降低化石燃料價格的可能性。

推廣高成本的生質燃料可能會增加能源價格的波動，也是其中一個爭議之處。雖然抑制能源價格上升不是發展生質燃料的目的，但是在許多國家積極管制要求市場使用生質燃料的同時，生質燃料的成本無法避免地會反映到最終的能源價格上。這種以推廣生質燃料降低化石能源依存度，卻又造成能源價格上升的情況，難免形成能源安全議題上的矛盾。

2. 環境影響

(1) 溫室氣體減量

相對於化石燃料，生質燃料最大的優勢在於環境友善的特性。溫室氣體減量與 EROI 有直接的關聯性，通常 EROI 愈高，溫室氣體減量也愈大。Quirin et al. (2004) 回顧許多研究指出，生質燃料溫室氣體減量的評估主要受到作物的耕作、轉換技術與副產品的評價影響。雖然當前對生質燃料的溫室氣體減量效益並沒有決定的定論，但大多數研究認為生質燃料具有溫室氣體的減量效益。

如圖 6 顯示不同料源的生質燃料鎖反映的溫室氣體減量效果，圖中黑色線條代表不同研究的溫室氣體減量貢獻，長方形灰色線條則表示不同研究的溫室氣體減量平均值。其顯示不同的原料或燃料有不一樣的溫室氣體減量效果，其中巴西的甘蔗酒精有最佳的溫室氣體減量效益，由穀物產製的酒精則有較差的

溫室氣體減量成效，研究差異最大的則是技術尚未成熟的纖維素酒精。

其他的研究如，Hill et al. (2006) 指出，玉米酒精與大豆柴油在溫室氣體減量上有正面的表現，玉米酒精相對於汽油可以有 12% 的溫室氣體減量效益，大豆柴油相對於柴油能有更佳的 40% 減量效益。Farrell et al. (2006) 也整理回顧六篇文獻，並以生命週期分析玉米酒精的能源與環境貢獻度。其指出，當副產品被拿來替代動物飼料的情況時，玉米酒精相對於汽油可以降低 13% 的溫室氣體排放量；但如果副產品不用於替代飼料時，玉米酒精將僅有更少或甚至沒有溫室氣體減量效益。最後，作者也認為生質燃料對環境造成的影響尚未被充份的了解，未來是相當需要在這方面進行研究的。

有少數的研究指出，生質燃料會產生更多的溫室氣體。Pimentel (1991, 2001) 的研究認為，以玉米酒精的生命週期所產生的溫室氣體排放量會比汽油多 30%。而 Pimentel 與 Patzek (2005) 的研究也認為生質燃料會排放更多的溫室氣體。Larson (2005) 回顧超過 30 篇生命週期評估的研究，並指出小麥製生質酒精的溫室氣體減量成果介於正的 38% 至負的 20% 之間。

Delucchi (2006) 則將大部份研究都未使用的氮循環 (nitrogen cycle) 納入生命週期考量，其研究結果也顯示玉米酒精的溫室氣體減量效果是不確定的，大豆製柴油更會比傳統柴油排放更多的溫室氣體，纖維素酒精則有明確的溫室氣體減量效益。

Crutzen et al., (2007) 的研究也指出，油菜籽與玉米雖然可以分別當做生質柴油與生質酒精的原料，但種植油菜籽和玉米的過程中，所使用的肥料會增加土壤含氮 (nitrogen) 量，並導致土壤釋放更多的氮氧化合物 (N₂O)，氮氧化合物是一種比二氧化碳 (carbon dioxide, CO₂) 強約 300 倍的溫室氣體，且可以持續存在大氣中約 110 至 120 年。該研究認為氮氧化合物對溫室效應的衝擊，可能會大過生質燃料本身的二氧化碳減量效益。

整體而言生質柴油的溫室氣體減量效果是較佳的，而玉米酒精的溫室氣體減量成效是最低的。值得一提的是，巴西的甘蔗製酒精有相當不錯的溫室氣體減量效益，Kaltner et al. (2005) 曾估計巴西的酒精產業每年能夠達到約 46.6 百萬噸的溫室氣體減量效益。IEA (2004) 對此指出，巴西的甘蔗酒精之所以有這樣的成效，主要有兩個原因：1. 巴西有充足的陽光並有肥沃的土地資源，所以不需要使用太多的肥料就能有相當高的收穫量。2. 生產過程中產出的甘蔗渣皆被燃燒當成轉化工廠的能源投入，且有愈來愈多的工廠同時利用氣電共生 (cogenertation)，使得酒精工廠還能將多餘的電力饋供回輸電網。也因此，巴西製造的甘蔗酒精可以在近乎不使用化石能源的情況下，達到高 EROI 與高溫

室氣體減量效益。

(2) 生物質與土地資源的使用

有些研究認為，生物質不一定要轉化為運輸燃料，而土地資源也不一定要使用於能源作物的種植，才能達到節能與溫室氣體減量的目標。根據 Armstrong et al. (2002) 的研究，以生物質（例如，多樣化的牧草（grass varieties））為燃料來產生蒸汽發電（steam and electricity），或用於熱電共生（combined heat and power, CHP），每公頃土地可以提供相當於 200GJ（gigajoules）的能量²，然而若同樣一公頃的土地用於種植生質酒精或生質柴油所需的作物，最多僅能提供約 30 至 40GJ 的能量。

另外，Tampier et al. (2004) 以 50 年期的研究認為，樹木在此期間所能儲存的二氧化碳能力，比起將生質物拿來發電或轉製運輸燃料的效果更佳。Righelato 與 V. Spraclen (2007) 研究生物燃料與森林的碳儲存能力，其以 30 年期的研究顯示，同樣的土地若使用於森林復育或保存，所產生的碳儲存效益是生質燃料的 2 到 9 倍。因此，Righelato 與 V. Spraclen 也建議若使用生質燃料的主要目標是二氧化碳減量效益時，決策者不如將重點放在改善化石能源使用效率及森林、草原等的保存與復育工作上。

(3) 溫室氣體以外其他的環境影響

除了對溫室氣體的影響之外，生質燃料從種植、收成至轉化生產的過成中也會造成其他的環境影響，而大部分的影響都是為了獲取能源作物所造成的農業污染。Hill et al. (2006) 指出，種植玉米及大豆時，所使用的化學品，如肥料、殺蟲劑等，都會直接污染土壤影響地力，或間接透過地表水流及地下水的滲透，擴大污染其他的環境資源。

i. 土地使用面臨的挑戰

土地的轉作是發展生質能對環境的另一項重要威脅，森林、濕地與草原本身就是天然的生物質（biomass）製造廠，並提供許多人類所需的環境或資源服務，只是這些價值並未被反映於市場價格上，導致有愈來愈多的森林、濕地或草原被轉做作物土地。

土地用於農業使用對環境造成的污染是相當廣泛的，包括從生物多樣性到全球氣候變遷的問題都有。其中，為了種植能源作物而對原始生態系（virgin ecosystems）造成不可回復的破壞是最嚴重的問題。例如摧毀森林會導致物種

² 1GJ=10 億焦耳。

與棲地遭到毀滅性的破壞，並喪失生態上的功能（ecosystem functions）。就有研究顯示，大規模的破壞森林會導致水文（hydrologic cycle）和氣候的改變，而引發區域性降雨量的減少和氣溫的上升（Kaltner et al., 2005）。土地轉種的問題已發生在熱帶地區的農民身上，許多農民爲了取得更多的棕櫚油，而大量的濫伐森林以種植棕櫚樹，危害環境與生物多樣性的發展。

ii. 土地的影響

傳統密集式耕作會使土壤有機物逐年耗損，尤其爲了因應地力的衰減而施用化學肥料與利用化學藥劑除蟲、除草、防止病害，又會更進一步降低土壤的生物多樣性。含氮化學肥料的使用會導致土壤和水質酸化，密集耕作也會有土壤流失的問題。地力的耗損、土地的流失等，這些問題都使得土地資源的永續使用面臨了嚴重的考驗。

iii. 水資源的影響

農業部門使用超過 70% 的淡水資源，所以在維持現有糧食生產的情況下，擴大能源作物的種植勢必加深水資源使用的壓力。再則，農業活動所使用的農藥和肥料，會透過地下水的滲透或灌溉水的溢流，而導致水資源的汙染。美國環境保護當局就認爲主要的非點源水汙染是來自農業生產活動（US EPA，1994），且由於不易釐清非點源汙染損害權責問題，進而導致對非點源水汙染之管理非常耗費成本（Libby and Boggess，1990）。

化學肥料透過灌溉水的溢流，主要會導致地面水資源的優養化。而用於除蟲、除草和防止病蟲害所施用的農藥也會透過灌溉水的溢流或滲透地下水，造成地面水和地下水的汙染，進而汙染土壤、危害野生生物的生存，並可能導致人類或野生動物生殖系統或內分泌系統的失調；根據世界衛生組織的報告，全球每年有高達 220,000 的人口因殺蟲劑中毒（pesticide poisoning）而死亡，且每年超過百萬的人口深受輕重不一的殺蟲劑中毒所影響（Worldwatch Institute, 2007）。

iv. 空氣品質的影響

生質燃料從能源作物的耕種、能源轉化到最終的燃燒使用都不免會排放空氣汙染物，不過最主要的空氣汙染排放源爲最後的燃燒使用階段。綜觀生質燃料之生命週期，生質燃料的某些空氣汙染排放比化石燃料乾淨（如一氧化碳），某些空氣汙染物則比化石燃料來的高（如氮氧化物）。

- 作物耕作、能源轉化和運輸造成的空氣污染

被最終燃燒使用之前，能源作物從耕作、收穫到能源轉的過程中，都免不了會造成環境污染。耕作所造成的空氣污染是較低的，這部份的污染主要來自於使用柴油運作的農事機具；耕作造成的另一部分空氣污染來自於農藥的使用，炎林（1992）指出，農藥所產生的空氣污染 33.5%來自空中噴灑，66.5%來自植物及土壤吸收水中含農藥而氣化成氣體。

能源轉化階段所產生的空氣污染物包括一氧化碳（carbon monoxide, CO）、氮氧化物（nitrogen oxides, NO_x）、硫氧化物（sulphur oxides, SO_x）、揮發性有機物化合物（Volatile Organic Compounds, VOCs）和懸浮微粒（particulate matter, PM）。例如，玉米酒精工廠會排放氮氧化物、硫氧化物、一氧化碳、汞（mercury）、微粒物（particulates）和二氧化碳（Environment News Service, 2005），而生產生質柴油使用的甲醇（methanol）也會產生環境污染。

收穫後的能源作物需要運輸至轉化工廠，轉化後的生質燃料也需要分配到各銷售據點，這些過程都須要使用到運輸機具，而這類的運輸機具多以柴油為燃料，因此也都會造成空氣上的污染。

另外，當國內對生質燃料的需求大過自產能力時，就會增加國內對進口能源作物或生質燃料的需求，而這些進口的需求必須透過船隻來運輸。雖然船運是相對有能源效率的運輸系統，但是在缺乏有效的船運排放管制標準下，海運也成為主要的空氣污染源，這類的污染包括，氮氧化物、硫氧化物、二氧化碳、和許多高毒性的污染物，如甲醛（formaldehyde）和多環芳香族碳氫化合物（polyaromatic hydrocarbons）。

- 燃燒生質燃料對空氣的影響

大部份的研究都認為，使用生質酒精與生質柴油所造成的空氣污染是比化石燃料來的低的，僅有少數如氮氧化物的排放量是較汽油與柴油來的高。

Kojima 與 Johnson（2005）指出，生質酒精與生質柴油廢氣排放的程度取決於燃料的形式（如，原料種類、與汽油或柴油的混合比例）、載具技術（vehicle technology）、運輸效率（vehicle tuning）和行駛狀況（driving cycle）。

生質酒精

表 8 顯示混合酒精（E10）在某些空氣污染物的排放上是較汽油來的低的，有些污染物的排放則是較汽油來的高。其中最大的成效在於一氧化碳的排放減量，尤其在舊引擎的表現上，可以藉由少許酒精的添加，增加汽油的含氧量，幫助汽油燃燒的更完全而降低一氧化碳的排放。可是混合酒精在氮氧化物與揮

發性有機物化合物的排放量卻是較汽油來的高的，而氮氧化物與揮發性有機物化合物則會造成地面臭氧³ (ozone) 的污染。汽油中添加少許的酒精所額外增加的氮氧化物排放量通常不多，但由於種植能源作物所使用的肥料會造成氮氧化物的污染，所以若將酒精的燃料生命週期納入計算，則酒精的氮氧化物排放量則比汽油要高出許多 (IEA, 2004)。

在其他有害空氣污染物的表現上，由於生質酒精不含有硫 (sulphur)、烯烴 (olefins)、苯 (benzene) 或其他芳香族 (other aromatics)，這些會影響空氣品質與危害人體健康的污染物。其中，苯為有害的致癌物質，烯烴與某些芳香族則會造成地面臭氧的污染。所以汽油在透過酒精的添加稀釋後，可以降低硫、烯烴、苯或其他芳香族所造成的空氣污染。其他的有害污染物減量還包括，1,3-丁二烯 (1,3-butadiene)、甲苯 (toluene) 和二甲苯 (xylene) 等 (Worldwatch Institute, 2007)。

生質柴油

與柴油相比，生質柴油可以降低大部分的空氣污染物，特別是微粒子 (particulates)、硫、碳氫化合物 (hydrocarbons, HC)、一氧化碳和其他有毒物質。尤其生質柴油不含硫，所以不會造成與其相關的空氣污染。根據美國環境保護署 (US Environmental Protection Agency, US EPA) 2002 年的研究，排放量主要受到生質柴油原料種類與傳統柴油添加生質柴油比例的不同而有所差異。整體而言，動物性原料為主的生質柴油在氮氧化物、一氧化碳與微粒子 (particulates) 的污染量會比植物性原料為主之生質柴油來的低。平均而言，EPA 認為 B20 生質柴油 (大豆) 會增加 2% 的氮氧化物排放，並減少 10% 的微粒子 (particulates)、11% 的一氧化碳和 21% 的碳氫化合物，同時也降低其他有毒污染物排放。

生質柴油較為人詬病之處也在於有較傳統柴油高的氮氧化物排放量，然而傳統柴油引擎的氮氧化物排放量本來就比較高，所以添加生質柴油後的氮氧化物排放量並沒有很大的影響，反倒是隨著生質柴油添加比例的上升，會有顯著的懸浮微粒、一氧化碳與碳氫化合物減量效果 (圖 7)。

3. 社會影響

³ 大氣中的臭氧層可以隔絕太陽光中大部分的紫外線，但臭氧也不是完全無害，若大氣對流層裡的濃度過高的臭氧反而是種嚴重的空氣污染物。對流層中臭氧的主要來源是由廢氣中的氮氧化物 (NO_x) 及揮發性有機化合物 (VOC) 經過複雜的光化學反應而產生。

近來人、車「爭糧」的問題在國際上引發了許多爭議，在 UN-Energy (2007) 的報告裡提到，生質燃料的大量使用可能會使得農作物價格上升，進而導致糧食安全 (food security) 問題的發生。糧食價格上升的問題可從兩方面來討論：第一，以農作物為原料的生質燃料將會排擠土地的使用，特別是當市場大量生產生質燃料時，勢必要使用更多的土地去種植燃料作物，而排擠其他非燃料作物耕作的機會，造成糧食價格上升的隱憂。第二，以燃料作物為能源產出的原料時，勢必造成食用價格與能源投入價格間競爭搶料的問題發生，導致燃料作物市場價格的增加，而這樣的情況現在已經反映在近來高漲的原料玉米與甘蔗糖價格上。

高漲的糧價最終將使得人民基本食物支出的負擔更加沉重，嚴重危及那些貧窮又不握有糧食資源之民眾的生存。最鮮明的例子發生在去年的墨西哥，玉米是墨國不可或缺的主要糧食，高漲的玉米價格更威脅當地民眾的生存，進而導致境內出現大規模的抗議活動。

六、結論與建議

經濟學上的名言「資源有限，慾望無窮」，點出了許多問題發生的癥結。維持氣候穩定的二氧化碳存量有限，所以不受限制的燃燒碳能源就必須面對全球暖化的問題。石油的存量有限，所以嚴重依賴石油維持高生活品質的人類，也要面對石油耗竭的危機。而國家資源也是有限的，所以要解決全球暖化和能源危機的問題時，政府應該以永續的概念，思考如何運用最少的資源，去解決最多的問題。例如，同一塊土地用來種樹或生態復育的溫室氣減量貢獻，其成本有效性是否較發展生質能燃料來的好；改善化石能源使用效率在能源安全上的成果，其成本有效性是否較生質能燃料來的佳等。

根據上節的生質能發展之永續性評估，我們知道使用看似美好的生質燃料，會衍生許多負面的威脅。在解決解決全球暖化與化石能源耗竭的問題時，應該避免製造與其相當或更困難的危機。所以政府在發展再生能源前，應以永續發展為目標，先要有完善的評估與規劃，而不是盲目地大量生產。

最後，我們建議政府發展生質能應該滿足以下三方面的永續性指標：

● 經濟

在能源安全面，應該要有兩個要求，首先技術必須要能夠有淨的能源產出來取代部分的化石能源；其次，要求社會淨效益必須大於零，避免將過多的社會資源用在生質燃料的產出上。

● 環境

除了溫室氣體減量成效外，還必須探討其他的農業污染、工業污染與燃燒生質燃料所造成的環境污染，其他還包括生物多樣性及許多與環境相關的成本和效益。

- 社會

政府除了要確保農民所得的提升之外，還必須顧慮到利益的公平分配，避免利益全集中在那些大型業者（工廠、通路商）身上。另外，避免糧價高漲的危機是政府應該特別注意的。避免糧價高漲應該要注意兩個地方：第一，在土地資源的使用上，應該確保生質能的發展不會排擠糧食作物種植的機會，而導致糧食供給不足；第二，政府應該確保高漲的能源價格不會影響糧食價格。

參考文獻

中文

- Mohan Munasinghe、蕭代基，1999。『環境經濟及政策之研討教材』，行政院環保署。
- 炎林，1992。「農業新知－農業空氣汙染」，『蔗報』，60卷，6期，28-29。
- 林曉洪、王秀華，2005。「生物質能源（Biomass Energy）概說」，『林業研究專訊』。4月。12-14。
- 駱尙廉、蕭代基，2007。『環境經濟分析』，曉園出版社。
- 蕭代基、鄭蕙燕、吳珮瑛、錢玉蘭、溫麗琪，2002。『環境保護之成本效益分析－理論、方法與應用』，俊傑書局。

英文

- Ahmed, I., J. Decker and D. Morris. 1994. "How much energy does it take to make a gallon of soydiesel?" Report for the National Soydiesel Development Board. Jefferson City, Mo.
- Armstrong, A. P., J. Baro, J. Dartoy, A. P. Groves, J. Nikkonen and D. J. Rickeard, 2002. "Energy and Greenhouse Gas Balance of Biofuels for Europe- an Update," CONCAWE Report No 2/02, Brussels, April.
- Bridgwater, T., 2006. "Review Biomass for Energy," Journal of the Science of Food and Agriculture. **86**:1755-1786.
- Crutzen, P. J., A. R. Mosier, K. A. Smith and W. Winwarter, 2007. "N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels," Atmospheric Chemistry and Physics Discussions. **7**:1191-11205.
- Delucchi, M. A., 2006. "Lifecycle Analyses of Biofuels," Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, Research Report UCD-ITS-RR-06-08.
- Doornbosch, R. and R. Steenblik, 2007. "Biofuels: is the cure worse than the disease?" Organisation for Economic CO-operation and Development, September. Available at media.ft.com/cms/fb8b5078-5fdb-11dc-b0fe-0000779fd2ac.pdf
- Environment News Service, 2005. "Illinois Ethanol Producer Must Install Air Pollution Controls," 24 December.
- Farrell, A. E., R. J. Plevin, B. T. Turner, A. D. Jones, M. O'Hare and D. M. Kammen, 2006. "Ethanol Can Contribute to Energy and Environmental Goals," Science. **311**:27-29.
- Hill, J., E. Nelson, D. Tilman, S. Polasky and D. Tiffany, 2006. "Environmental, economic and energetic costs and biodiesel and ethanol biofuels," Proceedings of

- the National Academy of Science. 103:11206-11210.
- International Energy Agency (IEA), 2004. "Biofuels for Transport: An International Perspective," Paris. Available at www.iea.org.
- Kaltner, F. J. et al., 2005. "Liquid Biofuels for Transportation in Brazil: Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st Century," Prepared for Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Rio de Janeiro, Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, November.
- Kojima, M. and T. Johnson, 2005. "Potential for Biofuels for Transport in Developing Countries," Washington, DC, World Bank.
- Larson, E. D., 2005. "Liquid Biofuel Systems for the Transport Sector: A Background Paper," Draft for discussion at the Global Environment Facility Scientific and Technical Advisory Panel Workshop on Liquid Biofuels, New Delhi, 29 August-1 September.
- Libby, L. W. and W. G. Boggess, 1990. "Agriculture and Water quality: Where Are We and Why?" in John B Braden and Stephen B. Lovejoy (eds.) *Agriculture and Water Quality*, Boulder, CO.: Lynne Rienner.
- Munasinghe, M., 2007. *Making Development More Sustainable*, Colombo, Sri Lanka, Munasinghe Institute for Development.
- Pimentel, D., 1991. "Ethanol Fuels: Energy Security, Economics, and the Environment," *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*. **4**:1-13.
- Pimentel, D., 2001. "The Limits of Biomass Energy," *Encyclopedia of Physical Sciences and Technology*, September.
- Pimentel, D., 2003. "Ethanol fuels: Energy balance, economics and environmental impacts are negative," *Natural Resources Research*. **12**:127-134.
- Pimentel, D. and T. Patzek, 2005. "Ethanol production using corn, switchgrass and wood; biodiesel production using soybean and sunflower," *Natural Resources Research*. **14**:65-76.
- Quirin, M., S. O. Gärtner, M. Pehnt and G. A. Reinhardt, 2004. "CO₂ Mitigation through Biofuels in the Transport Sector," Heidelberg, Institute for Energy and Environmental Research.
- Righelato, R and D. Spraclen, 2007. "Carbon Mitigation by Biofuels or by Saving and Restoring Forests?" *Science*. 317:902.
- Sheehan, J., V. Camobreco, J. Duffield, M. Graboski, and H. Shapouri, 1998. "Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus." CO, National Renewable Energy Laboratory. U.S. Department of Energy.
- Shrestha D. S. and J. Van Gerpen, 2007. "The Biodiesel Energy Balance," *Biodiesel Magazine*, October.

Tampier, M., D. Smith, E. Bibeau and P. A. Beauchemin, 2004. "Identifying Environmentally Preferable Uses for Biomass Resources, stage 2 report: Life-Cycle GHG Emissions Reduction Benefits of Selected Feedstock-to-Product Threads," Prepared for Natural Resources Canada and National Research Council Canada, North Vancouver, BC, Envirochem Services Inc, July.

United Nations, 2007. "Sustainable Bioenergy: A Framework for Decision Makers," UN-Energy. available at esa.un.org/un-energy/index.htm.

US Environmental Protection Agency (US EPA), 1994. "National Water Quality Inventory: 1992 Report to Congress," EPA 841-R-94-001, Washington, DC: Government Printing Office.

US Environmental Protection Agency (US EPA), 2002. "A Comprehensive Analysis of Biofuel Impacts on Exhaust Emissions," Draft Technical Report, Washington, DC, October. Available at www.epa.gov/region09/waste/biodiesel/resources/analysis-biodiesel-impacts.pdf

Worldwatch Institute, 2007. "Biofuels for Transport: global potential and implications for sustainable energy and agriculture," Earthscan, UK.

簡報資料

何美玥，2007。「台灣永續能源政策」。

表 1 生質物能源的原料來源分類

來源	種類	分類	實例
廢棄物	廢棄物	垃圾場氣體	紙漿污泥、污水污泥、食品加工廢料、木屑、塑膠、紙張、紙板...等
		生活中廢棄物	紙張、紙板...等
		工業廢料	污水污泥、紙漿污泥、食品加工廢料、木屑等
	農業及魚業	森林廢棄物	森林枯枝落葉、疏伐木枝條、小徑材等
		家禽、畜廢棄物	雞、牛、豬糞，動物屍體等
栽植植物	水生生物	農業廢棄物	稻穀、稻草、玉米桿、麥草、果穀、蔗渣、菌菇培養廢棄太空包
		微生物類	綠藻、光合作用菌
		海產類	海草、巨型海草
	陸生生物	淡水類	海扇貝、海藻
		油類植物	可可椰子、向日葵、油椰子、桐樹、棉仔樹
		纖維素類	竹、木、藤材、韌皮植物及其它綠色植物
		澱粉類	玉米、參茨、甜馬鈴薯、樹薯、甘藷
糖類	甘蔗、甜菜		

資料來源：林曉洪、王秀華，2005。

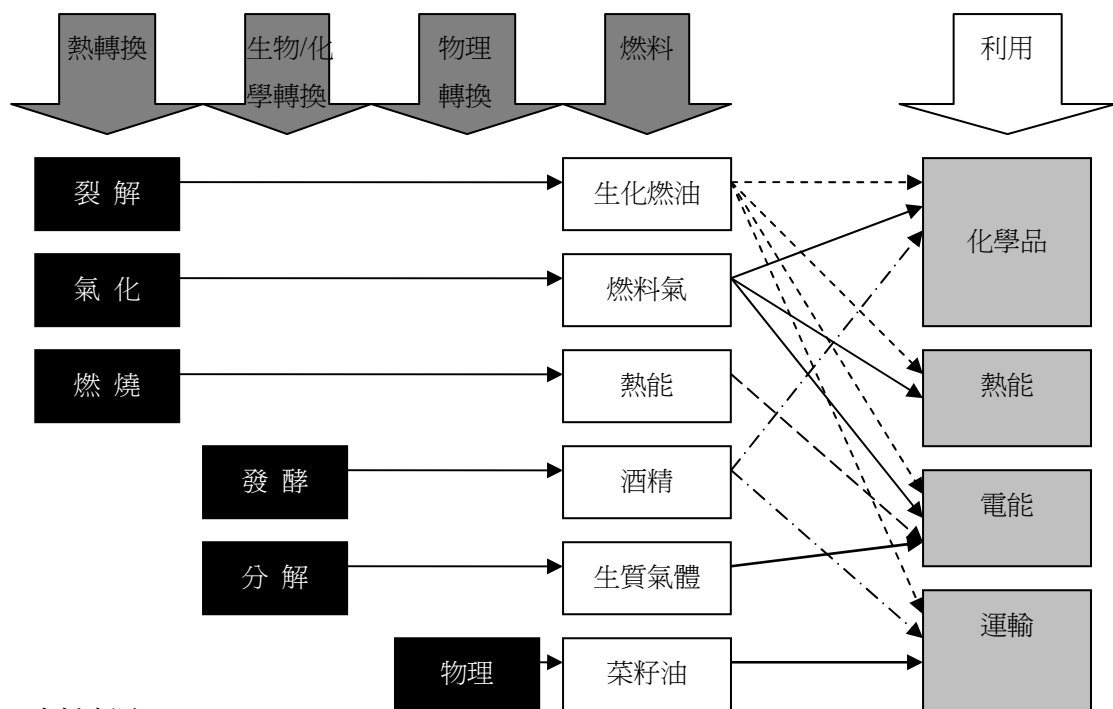


圖 1 生質能應用系統示意圖

表 2 我國再生能源發電之現況與目標

發展 時程 推廣項目	2007/06	2010	2010
	推廣實績	務實目標	推廣目標
	累計裝置容量 (萬瓩)	累計裝置容量 (萬瓩)	累計裝置容量 (萬瓩)
慣常水力發電	192.2	216.8	216.8
風力發電	20.4	122.3	215.9
太陽光電發電	0.16	2.1	2.1
地熱發電	-	3.5	5.0
生質能發電	65.5	65.5	74.1
合計	278.2	412.8	513.9
再生能源占總裝置容 量目標	5.9%	8%	10.0%

資料來源：經濟部能源局(2007)；何美玥(2007)。

表 3 我國生柴油各階段發展目標

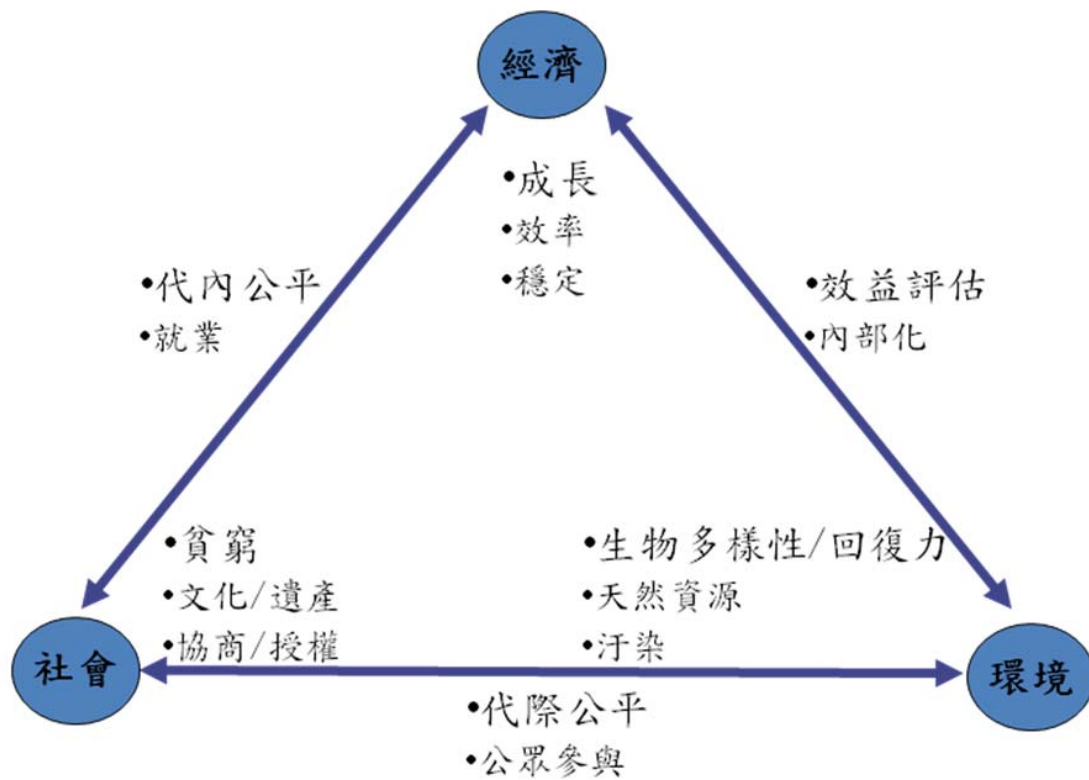
執行期間	推廣計畫	主辦單位	推廣目標量 (公乘)	推廣方式	料源
2004~	生質柴油道路 試行工作計畫	環保局	-	每年編列 1 億元補 助各縣市政府推 廣使用生質柴油	-
2007/01~ 2008/06	能源作物綠色 公車計畫	能源局	313	補助公營大眾交 通運輸車輛	國內： 農委會「能源作物 產銷體系」下，94 年至 96 年春作之 能源作物
2007/07~ 2008/06	綠色城鄉 (Green county) 應用推廣計畫	能源局	6,500	補助石油煉製業 者與加油站業 者，推廣使用生質 柴油 B1	國內： 農委會 96 年春作 及秋作種植之能 源作物，與動植物 或廢食用油
2008/07~ 2009/12	全面實施 B1 柴油	能源局	45,000/年	全國加油站全面 實施 B1 生質柴油	開放自由市場
2010/01~	全面實施 B2 柴油	能源局	100,000/年	全國加油站全面 實施 B2 生質柴油	開放自由市場
2025~	全面實施 B5 柴油	能源局	-	全國加油站全面 實施 B5 生質柴油	-

資料來源：經濟部能源局(2007)；何美玥(2007)。

表 4 我國生質酒精各階段發展目標

執行期間	推廣計畫	主辦單位	推廣目標量 (公乘)	推廣方式	料源
2007/09~ 2008/12	綠色公務車先 行計畫	能源局	770	補助台北市區域 內之公務車輛使 用 E3 酒精汽油	應優先採用國內 料源，不足得以進 口酒精摻配之
2009/01~ 2010/12	都會區 E3 酒 精汽油計畫	能源局	12,000/年	北、高兩市全面供 應 E3 酒精汽油	國內料源優先使 用
2011/01~	全面供應 E3 酒精汽油	能源局	100,000/年	全國加油站全面 供應 E3 酒精汽油	開放自由市場
2025	全面供應 E10 酒精汽油	能源局	-	全國加油站全面 供應 E10 酒精汽油	-

資料來源：經濟部能源局(2007)；何美玥(2007)。



資料來源：Munasinghe等，2001。

圖 2 永續能源發展之三個關鍵面向

表 5 行動影響矩陣表

活動/政策	目的	對永續發展有關的影響		
		環境	經濟	社會
推廣生質酒精 與生質柴油的 使用	環境改善 能源安全 經濟發展	1. 節約能源 2. 溫室氣體減量 3. 空氣污染 4. 水污染 5. 土壤污染 6. 地下水資源 7. 雨林、濕地、草 原等環境資源 的破壞 8. 生物多樣性	1. 經濟效率 2. 能源安全 3. 農村經濟	1. 農民所得 2. 糧食價格與 糧食危機

資料來源：本研究。

表 6 台灣地區休耕農地轉作能源作物之成本效益評估項目

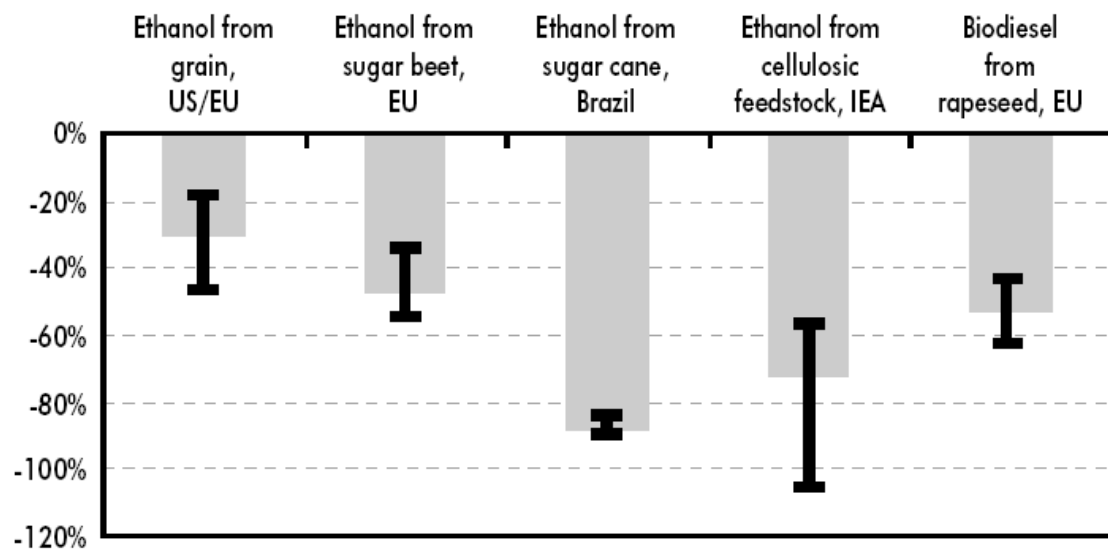
	零方案：維持現狀		替代方案：休耕地轉作能源作物	
	成本	效益	成本	效益
內部	綠肥作物耕種 成本		1. 能源作物耕種成本 2. 工廠的建置成本 3. 工廠的營運成本（能 源轉化成本、人事成 本等） 4. 運輸成本 5. 生質能銷售營運成 本 6. 政府行政支出	1. 生質能的收益 2. 副產品的收益
外部		1. 綠肥作物的溫室 氣體減量效益 2. 水土保持、涵養水 源 3. 景觀遊憩效益 4. 環境保育價值 5. 滯洪防災的效益	1. 農業汙染 2. 工廠的汙染 3. 運輸的汙染 4. 生物多樣性的衝擊	1. 溫室氣體減量效益 2. 替代化石燃料之效 益（不含溫室氣體） 3. 溫室氣體減量效益 4. 景觀遊憩效益 5. 環境保育效益 6. 滯洪防災的效益

資料來源：本研究。

表 5 各生質燃料的能源產出化石能源投入比 (fossil energy balance, FEB)

燃料 (原料)	FEB (近似值)	資料來源
纖維素酒精	2-36	(2.62) Lorenz and Morris (1995) (5+) DOE (2006) (10.31) Wang (2005) (35.7) Elsayed et al (2003)
生質柴油 (棕櫚油)	~9	(8.66) Azevedo (2005) (~9) Kaltner, cited in Azevedo (2005) (9.66) Azevedo (2005)
生質酒精 (甘蔗)	~8	(2.09) Gehua et al (2005) (8.3) Macedo et al (2005)
生質柴油 (廢蔬菜油)	5-6	(4.85-5.88) Elsayed et al (2003)
生質柴油 (大豆)	~3	(1.43-3.4) Azevedo (2005) (3.2) Sheehan et al (1998)
生質柴油 (油菜籽)	~2.5	(1.2-1.9) Azevedo (2005) (2.16-2.14) Elsayed et al (2003) (2-3) Azevedo (2005) (2.5-2.9) BABFO (1994) (1.82-3.71) depending upon use of straw for energy and cake for fertilizer; Richards (2000) (2.7) NTB Liquid Biofuels Network (undated) (2.99) ADEME/DIREM (2002)
生質柴油 (向日葵)	3	(3.16) ADEME/DIREM (2002)
生質柴油 (蓖麻)	~2.5	(1.5) Kaltner, cited in Azevedo (2005) (2.1-2.9) Azevedo (2005)
生質酒精 (小麥)	~2	(1.2) Richards (2000) (2.05) ADEME/DIREM (2002) (2.02-2.31) Elsayad et al (2003) (2.81-4.25) Gehua et al (2005)
生質酒精 (甜菜)	~2	(1.18) NTB Liquid Biofuels Network (undated) (1.85-2.21) Elsay et al (2003) (2.05) ADEME/DIREM (2002)
生質酒精 (玉米)	~1.5	(1.34) Shqpouri et al (1995) (1.38) Wang (2005) (1.38) Lorenz and Morris (1995) (1.3-1.8) Richards (2000)
生質酒精 (甜高粱)	~1	(0.91-1.09) dos Santos (undated)

資料來源：Worldwatch Institute, 2007



註：以生命週期（well-to-wheels）比較汽車使用生質燃料行駛每公里的溫室氣體減量效果，生質酒精與汽油相比，生質柴油與柴油相比。

資料來源：IEA, 2004。

圖 3 生質燃料溫室氣體減量估計

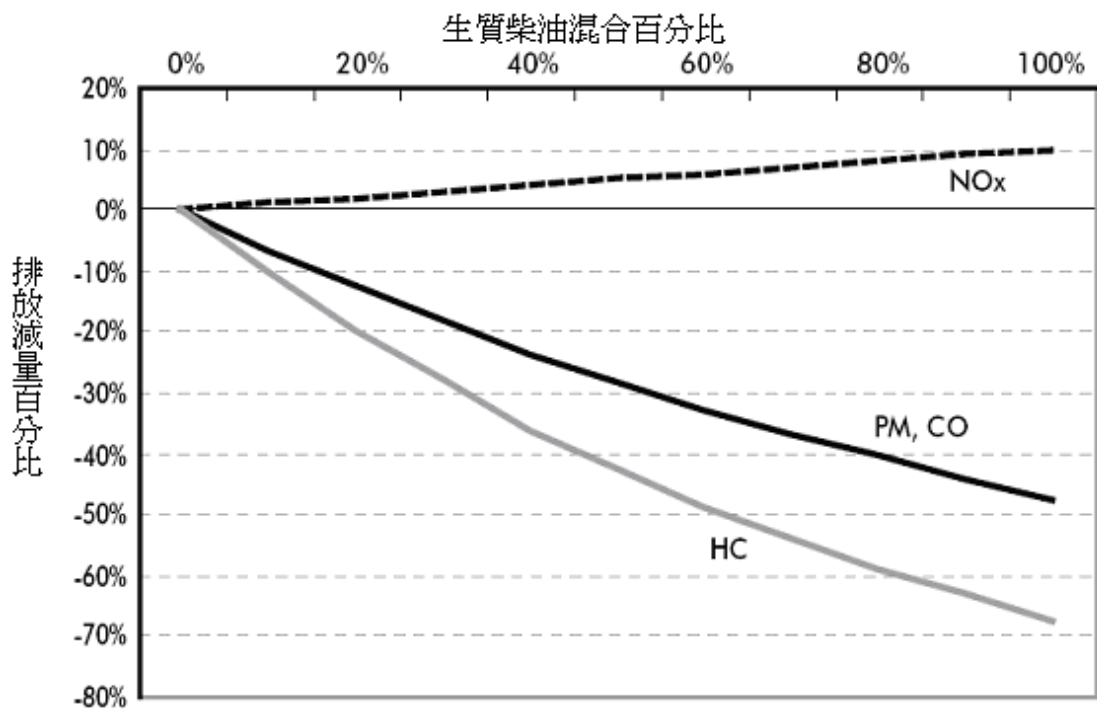
表 6 混合酒精汽油與傳統汽油在空氣汙染排放物上的比較

	混合酒精vs.傳統汽油
常見的管制空氣汙染物	
一氧化碳 (CO)	-
氮氧化物 (NOx)	+
揮發性有機化合物 (VOCs)	
氣壓排出 VOC (tailpipe VOC)	-
尾排 VOC (evaporative VOC)	+
VOCs 總影響 (total VOC)	+
懸浮微粒 (particulate matter)	-
其他未受管制的空氣汙染物	
乙醛 (acetaldehyde)	+
苯 (benzene)	-
1,3-丁二烯 (1,3 Butadiene)	-
甲醛 (formaldehyde)	+
硝酸基過氧乙酸 (peroxyacetyl nitrates, PAN)	+
異丁烷 (isobutene)	-
甲苯 (toluene)	-
二甲苯 (xylene)	-

註：1.加號 (+) 代表有排放減量效果，減號 (-) 則表示有高於傳統汽油的排放量。

2.甲醛排放量與添加甲基第三丁基醚 (Methyl tert-butyl ether, MTBE) 的汽油做比較。

資料來源：IEA,2004。



資料來源：IEA, 2004。

圖 4 混合生質柴油的排放減量效果