

歐盟生物經濟政策與發展

王俊豪

一、前言

廣義的生物經濟 (bioeconomy)，指應用生物科學 (biosciences) 的新發現，研發出生物相關的產品與服務，進而促成各種經濟活動與經濟利益。(OECD, 2005: 1) 簡言之，生物經濟係建立在生物知識的基礎之上，將生物科技應用於經濟活動中，藉以開發生物過程 (biological processes) 與再生生物資源 (renewable bioresources) 的潛在價值。至於狹義的生物經濟，則指以生物為基礎的經濟結構 (biobased economy)，強調生物科技在工業領域的經濟應用，意指利用生物過程、再生生物資源與生態-工業群集 (eco-industrial clusters)，以創造出永續的生物產品、職業與所得。(OECD, 2004: 5) 基此，生物經濟可謂是以生物科技知識體系為基礎所延伸的經濟市場，為知識經濟的一環，故又稱為生物知識經濟 (knowledge-based bioeconomy)。

生物經濟的發展背景，主要導因於石油資源的縮減、不斷增加的二氧化碳排放量、持續惡化的全球環境污染問題，以及鄉村社會經濟面臨轉型危機等因素。有鑑於此，世界各國的公私部門，均極力引藉生物科技的助力，尋謀再生資源合理利用的對策，以有效解決過度依賴石化能源的全球社會經濟發展困境。首先，以私部門而言，德國 BASF 公司、美國 Cargill DOW 公司與 DUPONT 公司，及荷蘭 DSM 公司等大型跨國化學企業，已積極測試開發自然資源相關產品的可能性。以 Cargill DOW 化學企業旗下的 Natureworks™ 公司為例，即以自然資源為基礎的產品來取代石化產品，作為企業經營的長期目標，並已獨資投資 5 億歐元，成功研發出綠色塑膠-聚乳酸 (Polylactic acid, PLA) 的聚合物與纖維產品。

其次，在公部門方面，美國能源部提出「2020 年再生資源發展計畫-植物/作物類生物科技準則」(The technology road map for plant/crop-based renewable resources 2020)，即著手整合農業、林業、生命科學與化學等跨部門研究工作，其策略願景在於將作物、林木與作物殘渣開發為工業產品。相似的，歐盟不僅擁有豐富的生物科技研究成果，加上對京都議定書 (Kyoto Protocol) 的政策承諾，故歐盟執委會科技研發機構 (European Commission's Directorate-General for Research) 與新型農產品中心 (Centre for Novel Agricultural Products, CNAP)，亦規劃生物經濟政策的發展策略與願景，一方面，積極開發非糧食作物類的生物產品原料，諸如纖維、油料、生物聚合物、生物材料與生質能作物 (biomass crops)；另一方面，則希望透過生物經濟作物的商業化成果，重新塑造歐洲的農業景觀。

基此，本文在論述歐盟的生物經濟發展政策時，擬區分為生物經濟的範圍與種類、生物經濟旗艦型研究計畫兩部分來加以說明。

二、生物經濟的種類與範圍

1、生物經濟的種類

從狹義的生物經濟而言，生物科技在工業用途的生物產品研發中，扮演著關鍵性的角色。目前歐盟的生物科技 (biotechnology) 研究重點有三：(1) 將新成份引進植物的某定部位中，以表現出外來異質基因的特性。(2) 修改現存的植物內在靶標分子 (target molecules) 之生物代謝路徑，以提高植物的品質或產量。(3) 利用經生物製程改造的植物或有機廢棄物 (organic waste)，以轉換成具附加價值的產品 (value-added products)。再者，在基因科技工具 (generic tools) 的研究方面，則包括基因圖譜 (maps)、基因標記 (markers)、雜交 (crosses)、混種 (hybrids)、基因收集 (collections)、基因序列 (sequences)、基因嵌入 (insertions) 和基因表現/遏阻系統 (expression/repression systems) 等生物技術。至於，生物科技研究成果，則可根據其產業應用領域，進一步區分為白色、綠色、藍色與紅色等不同顏色的生物科技類型 (http://whatis.techtarget.com/definition/0,,sid9_gci1109187,00.html)，茲列述如下：

- 紅色生物科技 (Red biotechnology)：指生物科技在醫藥領域之應用，諸如發展出新型的生物醫藥、或使用幹細胞進行人類細胞或器官的再生。由於紅色生物科技的醫療價值，故為社會大眾接受度較高的產業型態。
- 白色或灰色生物科技 (White/ Gray biotechnology)：指生物科技在工業領域的應用，諸如發展出新型的生物產品與生物燃料。
- 綠色生物科技 (Green biotechnology)：指生物科技應用在農業及環保產業之上，諸如透過基因改造程序，培植出抗病蟲害的新型作物，或是加速具特殊抵抗疫疾能力的動物品種之演化。
- 藍色生物科技 (Blue biotechnology)：指生物科技在海洋生命與漁業之應用，諸如海洋與水生環境的生物製程研發，或是控制有害的水生有機體之增殖與擴散，惟藍色生技產業較少被企業界關注。

整體而言，歐盟在推動生物經濟發展時，並不針對各類型的生物科技，提出個別的研發計畫，反而提倡綠色、白色與藍色生物科技之間的協力合作計畫，如將微生物的基因表現，對照於植物或海洋生物的基因表現，以進一步開發出不同工業產品的最佳生產路徑。因此，歐盟執行會在生物經濟的制度上，著重於「指

導植物基因與生物科技資訊的科技平台（Technology Platform）」的建制，以提升歐洲生物科技產品的發展潛力與可行性，而該科技平台也被視為生物經濟發展的關鍵要素，主要策略即在於促進白色、綠色與藍色生物科技間的聯姻工作。

2、生物經濟的應用範圍

有關生物經濟涵蓋的範圍，相當廣泛。根據歐盟生物原料計畫（biomaterials projects）的界定，生物產品的範圍，從大體積/低價值（high-volume/ low-value）的生物能源作物與生物燃料，到小體積/高價值（low-volume/ high-value）的植物醫藥產品與治療性蛋白質（therapeutic proteins）。進言之，生物科技應用於工業產品的研發上，係以生物科技的創新研究成果，使用可再生的農業原料，研製出符合工業應用的新型生物產品（biobased products）。其中，農業再生原料則包括木料、木料廢料與殘渣、雜草、作物，及動植物的副產品（by-products）。

一般而言，生物產品被視為不可再生資源或不永續原料與產品的替代選擇。因此，生物產品在歐洲市場極具有成長潛力。然而，長期來說，生物經濟的發展，仍有賴生物科技來提升產品品質，並擴展生物原料在工業的應用範圍。根據歐盟執委會的研究顯示，具市場發展潛力的生物經濟產品，包括生質能與生物燃料、纖維類、油品類、環氧樹脂類、碳水化合物與新型生物聚合物，及蛋白質類的生物產品。（European Communities, 2004: 12-13）茲整理如表一所示，並說明如後：

（1）生質能與生物燃料

由於石化燃料為不可再生的資源，世界各國為了掌控剩餘石油存量的爭奪戰，已變成全球緊張情勢的主要來源。諸如石油價格的持續波動，造成全球市場的不確定性。另外，煤炭和其他石化燃料的燃燒，則昇高大氣中的二氧化碳濃度，進而導致全球氣候變遷的問題。因此，歐盟為降低對石化燃料的依賴程度，已將尋求本地化另類能源的解決方案，列成為能源政策的基本目標之一，以降低進口油量與二氧化碳排放的問題。

表一、生物經濟潛力產品類型與應用範圍

產品類別	作物名稱	工業用途	生物產品	特色
生質能	農業廢棄物、廢木、樹皮、麥桿或稻草	產生電力或熱能	生物能源	作物本身為再生原料
	多年生芒草	產生電力或熱能	莖桿	芒草為高產量、低田間管理、粗厚莖桿、低含水量
生物燃料	小油菜	取代石化燃料	生物柴油	二氧化碳低排放量
	小麥、甜菜	提供「氫」原料	生物酒精	符合氫經濟趨勢
纖維類	傳統纖維作物，如亞麻、大麻等	織布材料、車身鑲板材料	紡織纖維	纖維作物可兼顧農業發展和環境保護
	大麻	絕緣體、嵌板、紙張、包裝材料、生物可分解尿布	新型纖維原料	大麻的耕作條件低
		油漆與亮光漆的原料	大麻油	
	白楊樹	紙張	紙漿原料	-
油品類	傳統油料作物與非糧食作物，後者如亞麻、金盞花、海甘藍	潤滑劑、溶劑、洗潔劑、油漆、泡沫塑料與生物塑膠	生物油品	生物產品可多元應用於工業、食品業中
		製藥業、化妝品業	蠟酯	
		香水、調味料	癸酸	
		食用/非食用產品	新型長鏈多元不飽和脂肪酸	
	金盞花	潤滑油、界面活性劑、聚氨酯發泡劑、化妝品、亮光漆和塗料	金盞酸	非油料成分的附加應用，如金盞花粉及金盞花蕊
	海甘藍/濱菜	塑化劑、潤滑劑、化妝品的定色劑	芥子酸	改善籽油的品質
	亞麻	塗料、亮光漆與機油原料，特殊生物油品	亞麻籽油	具有優越的抗氧化性與熱穩定性，適合高溫環境下作業
環氧樹脂類	植物油 亞麻〈亞麻籽油〉	生物性工業原料，如機艙門內層	環氧樹脂	熱物性較佳
新型生物聚合物	塊根作物	果聚糖、生物塑膠	碳水化合物、澱粉	

	菊苣	兼具食品與非食品工業用途	菊澱粉	具抗乾旱與低肥料需求的特性
	甜菜	食品類產品，如低卡路里代糖、減肥纖維與膨脹劑；非食品類產品，如生物可分解塑膠、去污劑、黏著劑與化妝品原料	果聚糖	-
蛋白質類生物產品	基因轉殖作物	植物性疫苗與抗體	蛋白質類生物產品	土地需求量大、社會大眾接受度高

就生質能（Biomass）而言，係指以木材或整株作物作為能源載體，經過直接燃燒來產生電力或熱能。具可燃性的再生原料，包括農業廢物與殘渣、森林廢棄木、劣質木材、增生木材、生長期短的木材、樹皮、麥桿或稻草等。（王俊豪，2005）目前歐盟執委會生質能作物改良的生物科技研發重點，在於提高芒屬植物的燃燒效率。在生物燃料（biofuel）方面，目前澳洲、法國和德國的生化燃料市場，已頗具成效。其中，並以生物柴油（biodiesel）作為生物燃料的主要商品，而歐洲生物柴油的重要原料，則是油菜籽油。進言之，從小油菜（*Brassica napus*）所提煉的植物油，可透過化學催化作用，轉換成烷醇酯類的長鍊脂肪酸（alcohol esters of long-chain fatty acids），進而調配出生物柴油。其中，以甲醇為基礎的生物柴油，主要的生物原料為菜籽油甲基酯（Rape Methyl Ester, RME）；相似的，以乙醇為主的生物柴油者，則以菜籽油乙基酯（Rape Ethyl Ester, REE）為原料。

由於生物燃料作物的環保價值，相較於石化燃料，因生物柴油的二氧化碳排放量較低，故較不會造成環境污染，故為另類能源來源的研發重點。然而，推廣生物燃料作物時，歐盟尚需面臨的挑戰，在於其土地的需求量較大，一方面，會大幅改變農耕的視覺景觀；另一方面，則會降低生物多樣性。所幸油菜花為現行歐洲農業景觀的重要特徵之一，故油菜籽生作為生物柴油原料時，其對於景觀與生物多樣性的衝擊，也相對較低。

至於，其他生物燃料作物的推廣計畫，歐盟的能源政策規劃，預計在 2020 年時，將生物燃料作物耕作面積，擴增至六百萬公頃，並且針對燃料作物區的環境舒適性（amenity）與美學價值，以及保護生物多樣性的問題，採取相關的輔助措施。例如生質能計畫中的林地利用與單一作物農場中，引入植物原生種（native species）的栽培，以降低對當地農耕景觀與生物多樣性的負面衝擊。最後，歐盟有鑑於未來的能源發展趨勢，將邁向氫經濟¹（Hydrogen Economy）的

¹ 氫經濟一詞，為 1970 年發生第一次能源危機時，由美國通用汽車公司（General Motors）所

時代，故將原本生產剩餘的歐洲小麥和甜菜，預計透過生物科技開發出燃料電池（fuel cells）所需的氫原料- 生物酒精。

（2）纖維類生物產品

歐洲的大麻（*Cannabis sativa*）、亞麻（*Linum usitatissimum*）與其他傳統纖維作物的發展歷史，相當悠久。但在面臨棉花與人工合成纖維的競爭時，其應用價值則大幅滑落。然而，近年來大麻與亞麻轉型為綠色纖維（green fibers）的原料作物時，其需求量大增，呈現鹹魚翻身的趨勢。因為傳統有機栽培的新大麻品種，經過生物科技的改良之後，已升級為高品質紡編品與流行服飾的纖維原料。以義大利 CorpoNove 公司為例，即利用傳統纖維開發出智慧型織布（smart textiles）產品。相同的，歐洲 BMW 車商以植物纖維為原料，加工製作成車身鑲板（vehicle panelling）的材質。

因此，傳統大麻與亞麻等的纖維作物，一方面，重新被應用織布與服飾材料等綠色產品之開發；另一方面，由基因改造的新型作物，則可萃取出符合工業需求的高品質纖維，可用於逐漸取代工業用的石化原料與人工合成纖維，故可兼顧歐洲農業發展與環境保護的雙重利益。

（3）油品類生物產品

就生物油品而言，由植物油所提煉的溶劑和潤滑劑，已成為可以取代部分石化油品的市場發展利基。事實上，藉助生物科技的微調代謝過程（fine-tuning metabolic processes），不僅可以提高植物油料品質，更可以研發出特殊用途、高價值的新型油品（novel oils），諸如生物性潤滑劑、溶劑、洗潔劑、油漆、泡沫塑料與生物塑膠等。

進言之，植物油內含上百種礦物油料所無法提煉出的罕見脂肪酸（unusual fatty acids），此稀有的長碳與碳鏈結，包括未飽和的雙鍵和三鍵鏈結、分支點和環氧化物的鏈結等，則可利用生物科技從植物萃取出來，進而研發上述工業用的新型油品。除了傳統油料作物之外，亞麻、金盞花（*Calendula officinalis*）和海甘藍/濱菜（*Crambe abyssinica*）等非糧食作物，均具有開發生物油品的潛能。例如金盞花的金盞酸、海甘藍的芥子酸。

目前歐盟提出的生物性脂肪與油料的破冰計畫，尚包括蠟酯（wax-esters）、高癸酸油（high-capric oils）與長鏈多元不飽和脂肪酸（long-chain polyunsaturated fatty acids）等研究領域。其中，蠟酯的工業用途，主要應用於製藥業與化妝品

創，主要用來描繪未來能源體系，將可能以氫氣來取代石油，成為支撐全球經濟的主要能源。換言之，氫經濟係指整個氫能源生產、配送、貯存及使用的市場運作體系。詳見<http://database.cpst.net.cn/popul/xsjlrldt/artic/60113141257.html>。

業中，其低廉的價格，可作為進口荷荷芭油（jojoba oil）的替代品。再者，癸酸或癸酸乙酯（decanoic acid）則是製造香水與調味料的重要酯類原料。至於，從植物所提煉的新型長鏈多元不飽和脂肪酸（Novel long-chain polyunsaturated fatty acids, PUFAs），有助益於人體健康，分別可應用於食用或非食用產品的開發。

然而，植物性的罕見脂肪酸，雖具有市場獲利的潛力，但因為歐洲部分企業已經放棄油品类生物產品的研發。要克服生物油品商業化的發展瓶頸，預估仍要 10 至 20 年的研發時間。因此，從石化燃料經濟轉型為生物經濟的過程，亟需公部門提出有利的政策誘因與提供重要的基礎設施，始能竟其功。

（4）環氧樹脂類生物產品

由植物油所提煉的環氧樹脂（Epoxy resins），係從可再生資源所生產毒性較低的植物性樹脂。該環氧化物的品質，不僅與石油提煉的合成樹脂相似，且因其熱物性（thermal properties）較佳，故可應用於電機產品的開發，例如飛機艙門內層。目前法國農工業研發中心（Agro Industrie Recherches et Développements）已將亞麻籽油（Linseed oil）成功製成環氧樹脂之生物性工業原料。

（5）新型生物聚合物

歐盟生物科技計畫的研究之一，在於將碳水化合物（Carbohydrates）開發為符合工業標準的新型生物聚合物（novel biopolymers）。例如具有新分子結構的澱粉，或是由塊根作物提煉出果聚糖（fructans），以及生物塑膠等產品。

（6）蛋白質類生物產品

經基因轉殖的植物，可用來生產高價值的蛋白質類生物產品，包括醫療用的植物性疫苗與抗體等。由於蛋白質生物產品的土地需求較低，小規模的溫室栽培即可進行相關的研發工作；另一方面，生物科技應用於醫療領域時，社會大眾的接受度也較高，故此類生物產品的市場發展潛力極高。惟目前紅色生技產業尚面臨分子農場²商業化的技術瓶頸，因此，歐盟對此類生物產品的破冰計畫之一，即在於如何將植物提升為蛋白質基因重組的生物反應器（bioreactors）。

三、生物經濟的旗艦型計畫

（一）歐盟生物經濟的政策規劃

歐盟有鑑於長期實施共同農業政策後，衍生的作物生產過剩問題，再加上 WTO 的農業自由貿易競爭壓力，故致利於農作物轉為工業用途的研發工作，迄今已有 15 年的歷史。特別在 2004 年五月完成歐盟東擴之後，新加盟的十個東歐

² 所謂分子農場（molecular farming）係將植物視為高效率的工廠，指利用基因工程來萃取與製造高價值的生物產品，如利用植物開發出植物性疫苗。

會員國，將增添大量的農業耕地，可作為開發非糧食作物的生產利用。事實上，歐盟於 2000 年成立的歐洲科技研發園區（European Research Area, ERA），即嘗試建立一個發展歐盟內部科技研發活動的整合架構，並於 2002 年提出研發生物產品的第一個行動計畫-「生命科學與生物科技：歐洲 17 策略」(Life Sciences and Biotechnology: A Strategy for Europe'17)。

歐盟有鑑於現有生物科技的研究成果，缺乏有效的協調機制，故提出 Informenica 計畫（QLK5- 2000-00111），以建制跨歐洲工業用生物科技的資訊與資源網絡。因為生物產品擁有龐大的新市場商機，透過該計畫除可瞭解潛在的市場規模與所需技術的規格之外，更可提升終端消費者對工業作物效益與商機的認同。儘管目前生物科技的研發經費，僅佔歐盟 GDP 的 1.5%，遠落後美國與日本。但是歐盟在巴塞隆納高峰會（EU Barcelona Summit）中，即決議生物科技的研發總預算，預計至 2010 年向上調至 GDP 的 3%，而且其中 2/3 的經費，將鼓勵由私人企業出資，以提升生物經濟部門的競爭力。

歐洲科技研發園區在運作上，主要透過歐盟研究與科技發展架構計畫（EU Framework Programmes for Research and Technology Development）的建制來落實生物科技的研發議程。進言之，歐盟架構計畫（EU Framework Programmes）的主要目標，在於重新配置研究基金，以整合與協調會員國之間的科技研發工作，包括專家、專業技術與研究資源的最佳化，進而達成歐洲整體的政策目標，強化歐洲經濟的競爭力。茲將與生物科技相關的架構計畫與行動計畫，列述說明如下：

- 第四架構計畫：係屬於農漁業計畫（Agriculture and Fisheries' Programme, FAIR）的一部份，實施期間為 1994-1998 年，簡稱為 FP4。
- 第五架構計畫：為生活品質計畫（Quality of Life）的一部份，實施期間為 1999-2002，簡稱為 FP5。其下，規劃有六個主要的行動計畫（Key Action Plan），以第三與第五個行動計畫而言，分別簡稱為 QLK3 與 QLK5（Key Action 5）。前者的計畫重點，在於利用生物科技以理解控制生物產品與生物過程發展的分子運作基礎，故又稱為細胞工廠計畫（The Cell Factory）；後者則以永續農業為主，並特別著重於非食品部門的生物過程研究計畫。（European Communities, 2004:11）
- 第六架構計畫：計畫年限為 2002-2006，簡稱為 FP6。該架構計畫規劃有：(1) 健康相關的生命科學、基因重組與生物科技；(2) 資訊社會科技；(3) 奈米技術與奈米科學；(4) 航太科技；(5) 食品品質與食品安全；(6) 永續發展、全球變遷與生態系統；(7) 知識社會的公民與治理等七大研發重點。其中，與生物經濟相關的研發領域，包括第一行動計畫的生命科學、第六行動計畫

的永續發展領域。(European Communities, 2004: 21)

- 第七架構計畫：目前尚處於研擬階段，預計實施期間為 2006-2010，簡稱為 FP7。目前預定的研發重點，包括植物系統生物學 (plant systems biology)、氫經濟 (hydrogen)、光電科技 (photovoltaics) 與耐米科技 (nanotechnology)。其中，歐盟將著手建立「植物系統生物學/生物科技的科技平台」(technology platform for plant systems biology /biotechnology)，並將全力推動四大類生物產品 (bioproducts) 市場化的旗艦型 (Flagship application) 計畫，以實現永續經濟的願景。如圖一所示。

(二)、生質能作物：芒草

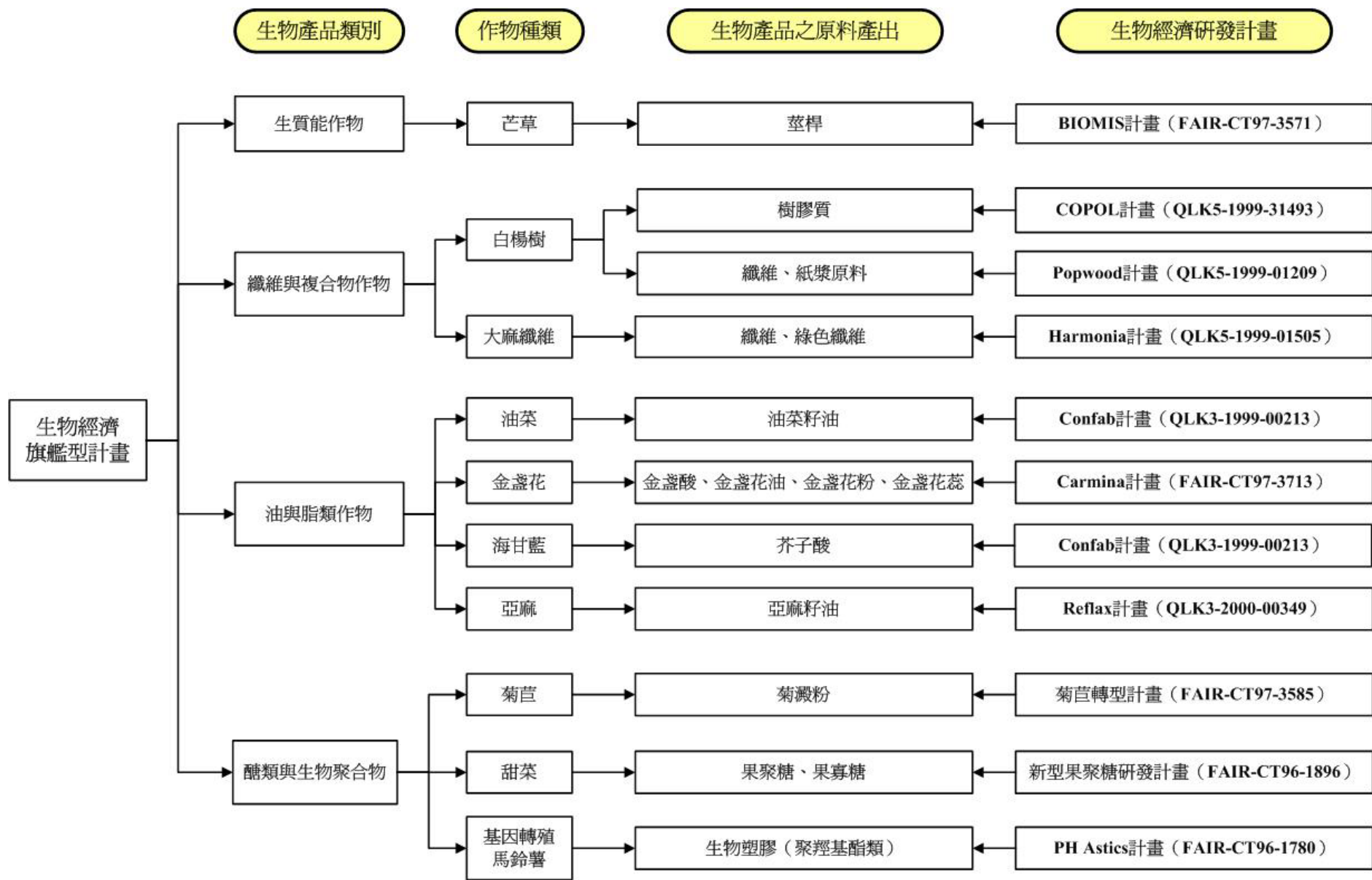
自然再生能源 (Renewable energy) 與生質能作物 (Biomass crops) 的經濟發展價值，不僅可以取代石化燃料的消耗，促進能源資源的永續利用，更具有減少氣候變遷負面衝擊的環境利益。前者如風力、潮汐、太陽能、水力、地熱能源；後者則是藉助生物科技來改善生質能的燃燒特性與品質，特別是多年生的芒草 (*Miscanthus sinensis*)，被視為歐洲最具潛力生質能作物的芒草品種。

進言之，芒草擁有高產量、低田間管理、粗厚木質莖、約 20-30% 的低含水量等特性，故為極佳的生物能源 (bioenergy) 商品。因此，歐盟提出 BIOMIS 計畫 (FAIR-CT97-3571)，即希望藉助生物科技來降低芒草燃燒過程中產生的污垢、爐渣和腐蝕等特性，以達到芒草作為生產電能與熱能來源的目標。諸如傳統的育種方法與分子標記技術，即可改善植物莖部的礦物質成份，提高燃料品質，諸如植物內含豐富的鉀與氯成份，將不利於燃燒，因為在燃燒過程中產生嚴重的污垢問題。故 BIOMIS 計畫中的分子標記圖譜 (Molecular-marker maps) 技術，將可精確的分析出不同種系芒草的礦物質含量。未來歐盟將提供補助的經濟誘因，推廣農民轉作能源芒草。

(三)、纖維與複合物作物：白楊樹、大麻

以植物纖維作為原料的生物產品，應用範圍極廣，從大體積/低價值的木漿與生質能，到小體積/高價值的專業紙張與薄膜。然而，透過生物科技則可進一步開發出生物可分解的複合材料、紡織原料與織品布料 (biodegradable composites, textiles and fabrics) 等新生物商品。換言之，生物科技在植物纖維品質的改良方面，可藉助植物細胞壁新陳代謝過程的相關研究，有效降低木質組織中的木質素與其他複合物，提高木材與紙漿製程的效率。

由於植物細胞壁維繫著纖維品質的良莠，故歐盟提出的 COPOL 計畫 (QLK5-1999-31493)，即嘗試整合控制多醣類與木質素的生物合成過程，亦即從植物細胞壁的改造基因工程，以改善纖維素成份，並可取得性與纖維品質，進而開發出工業用途的新型纖維原料。目前 COPOL 計畫共整合 10 個研究單位，



圖一、歐盟旗艦型生物產品與研發計畫

其研究核心在於植物細胞的木質素與半纖維素之生物合成作用，而研究成果將可運用於操縱不同植物種類的木質素與半纖維素的成份。其中，該計畫將以煙草（*Nicotiana tabacum*）作為模型植物（Model plant）³，進行基因分離（gene isolation）與蛋白質體（proteomic）的技術研發。

1、白楊樹纖維

有關木質素生物合成的基因定位技術研究，係以木漿原料作物- 白楊樹（poplar, *Populus*）為主。傳統上，從纖維製成木漿（wood pulp）的加工過程，因木頭中含有大量的木質素，不僅成本昂貴、需用強力的機械裝置，且需使用氯等有害環境的化學物質。因為木質素的含量會受到樹膠質含量的影響，因此 COPOL 計畫的另一目標，便是針對白楊樹進行基因改良，以控制樹膠質（xylans）合成的基因。除此之外，白楊樹的樹膠質合成的基因研究，還可應用於其他領域如：簡化亞麻加工成工業用纖維的過程，或是將玉米轉化成易消化的動物飼養。

其次，歐盟的 Popwood 計畫（QLK5-1999-01209），則強調以創新的功能性基因方法（functional genomic approaches），改造白楊樹的纖維與木材性質，以改變樹木維管的方式，來強化白楊樹的纖維特性，促使樹齡較短的白楊樹，可提早收成作為紙漿生產的原料。目前 Popwood 計畫已經完成模型作物擬南芥（*Arabidopsis*）的基因定位工作，確認出與植物生長素釋放、維管組織大小和厚度的相關基因，並將此擬南芥的基因轉殖於白楊樹之中。

2、大麻纖維

大麻纖維的工業產品，發展歷史相當悠久，諸如以大麻莖纖維製成紡織品、繩索、帆布和麻袋等。事實上，第一件牛仔褲的材質，便是由大麻纖維所製成。目前歐盟已將大麻列為歐洲農業多樣化與永續發展的關鍵作物，因為大麻所需的水量、肥料與殺蟲劑的耕作條件均較低，更重要的是，大麻纖維擁有多用途與生物可分解的特性，故適合推廣至全歐各地種植。基此，歐盟提出以大麻作為新型工業原料的 Harmonia 計畫（QLK5-1999-01505），希望藉由改善大麻纖維品質的方式，來達到提高大麻經濟效益的目標。重要生物科技的研發，包括使用基因 DNA 微型陣列（DNA microarrays）的基因表現（Gene expression），進行細胞壁新陳代謝的基因分離，並將改造後的基因轉殖至大麻與亞麻之中，以瞭解酵素影響細胞壁成份的生物合成過程，進而改善植物的纖維品質。

目前歐洲已研發出高莖纖維含量的大麻新品種，相較於棉花更為耐用，也比化學合成纖維更永續，故大麻纖維被視為新興的綠色纖維（green fiber）與工業原料作物。有關大麻可開發的工業用途，包括絕緣體、嵌板、紙張與包裝材料、

³ 所謂模型植物係指生物科技計畫中，實驗室的主要試驗對象，而其基因的研究成果，未來將可轉移或應用到實際作物之上。

玻璃纖維的替代品，以及生物可分解尿布（biodegradable nappies）等消費產品。此外，大麻油（Hemp oil）在工業應用上，也極具市場潛能，諸如作為油漆與亮光漆的原料。

（四）、脂與油類作物：油菜、金盞花、海甘藍與亞麻

油料作物為工業油品的重要來源。生物科技可以提高植物油的產量與品質，更可以開發出新型的油品，諸如罕見脂肪酸（unusual fatty acids）、金盞花油。然而，新型油品在商業化的過程中，尚需突破經濟效益的瓶頸，諸如油籽作物的低儲油量與低發芽率等問題。基此，歐盟提出的 Confab 計畫（QLK3-1999-00213），主要目標在於克服新型油品商業化的技術限制，希望透過控制脂肪酸的分解過程，以提高油籽生產新型油品的產量。進言之，脂肪酸合成與分解的代謝過程，是決定新型油品的關鍵技術所在。故在 Confab 計畫中，歐盟以擬南芥作為模型作物，以確認罕見脂肪酸合成與分解過程中，存於酵素中的關鍵基因，並將該基因轉殖至油籽作物中，以提高脂肪酸的儲存量。

傳統上，油料作物係以油菜（Oilseed rape）為主，而油菜籽油早已發展為工業用途產品，並成為植物油基因改造的研究焦點之一。然而，歐盟積極開發工業用油的於新型非糧食作物，目前已列為研究重點的油料作物，包括金盞花（*Calendula officinalis*）、海甘藍（*Crambe abyssinica*）與亞麻。一方面，希望透過生物科技，從新型油料作物開發出特殊的工業產品；另一方面，則可降低工業原料侵入人類食品鏈的機會。

1、金盞花油

金盞花油（*Calendula oil*）內含豐富的金盞酸（約 60%）與多種罕見脂肪酸，其工業應用上，可作為潤滑油、介面活性劑、聚氨酯發泡劑、化妝品、亮光漆和塗料等工業原料。然而，新型作物商業化生產的主要限制，在於採油技術（oil-recovery）、高價值副產品的研發，以及如何建制作物成本效益的管理系統。由於金盞花油的活性較大，故從種子提煉油品的過程時，需要特別的反應減緩技術。基此，歐盟提出的 Carmina 計畫（FAIR-CT97-3713），即以金盞花作為工業應用的農藝原料，其目標在於創新金盞花油及其衍生物的工業用途。進言之，Carmina 計畫主要用來確認金盞花最佳的農藝特性與油料生產的基因類型。此外，金盞花的非油料成份，亦具有商業開發的潛力，諸如金盞花粉（*Calendula meal*）為油料萃取過程中的重要副產品，除了可作為動物飼料外，金盞花蕊也可萃取出食品染色劑的原料。

2、海甘藍油

目前工業用芥子酸（erucic acid）的作物來源，主要為油菜。然而，經過基因改造的海甘藍，可提煉出含有 55-60%芥子酸的籽油，將成為工業用油的另一

重要來源，其應用範圍，包括塑化劑、潤滑劑、工業尼龍、化妝品的定色劑等工業用途。惟海甘藍商業化的生產障礙，在於海甘藍萃取油料後，會產生硫配糖體（Glucosinolates）的粉末殘渣，該粉末雖然富含蛋白質，但是有礙人體健康，故必須在煉油的加工過程中移除。

3、亞麻油

亞麻的傳統工業用途，主要為纖維。但是藉助生物科技改造的亞麻，則可提煉出附加價值較高的亞麻籽油（linseed oil），可作為塗料、亮光漆與機油的原料。基此，歐盟提出的 Reflux 計畫（QLK3-2000-00349），即以亞麻的脂質代謝工程研究為主，重點在於研發出具生物潤滑劑特性的支鏈脂肪酸（branched-chain fatty acids）與罕見脂肪酸等生物油品。諸如從亞麻提煉出的支鏈脂肪酸，因為具有優越的抗氧化性與熱穩定性，適合高溫環境下作業，故可取代石化類的機械潤滑油。

（四）醣類與生物聚合物：菊苣、甜菜

澱粉（Starch）為長鏈葡萄糖分子所組成的聚合物，一般商業用的澱粉作物，主要為馬鈴薯、玉米、小麥和大麥。傳統上，以馬鈴薯與玉米為原料所製成的是較廉價之澱粉產品，且多應用於食品工業上。然而，澱粉含有直鏈葡萄糖分子的澱粉酵素（amylase）與多鏈葡萄糖分子的支鏈澱粉（amylopectin），故在非食品工業上的應用，則可製成填充顆粒、紡織布料與生物塑膠等生物產品。

由於不同作物可提煉出不同結構與化學特性的澱粉，故藉助生物科技的應用，則可量身訂作出符合特殊工業用途的澱粉種類。因此，歐盟提出數個工業用澱粉的生物科技計畫，諸如英國 John Innes Centre 的澱粉研究，主要目標在於標示與改造決定澱粉結構的酵素基因與活動。進言之，該研究中心的實驗重點，在於利用突變或基因改造植物，找出不同酵素種類⁴在澱粉合成過程中所扮演的角色，以進一步修正澱粉的結構。目前歐盟的澱粉研究，已利用由擬南芥模型作物取得相關的基因組資料，並將其使用在不同的酵素上，以達到澱粉白天合成與夜間分解的成果。以基因改造馬鈴薯而言，此技術可提高澱粉合成的比例，據以開發出非食品部門工業用途的新型澱粉，如經修正澱粉醣支鏈比例的澱粉。茲以菊澱粉、果聚糖與生物聚酯為例，說明如後。

1、菊澱粉

菊苣（*Cichorium intybus*）為歐洲本土的二年生作物，其根部萃取的澱粉，通常應用為食品工業原料，故在比利時、法國和荷蘭等國，均屬於次要作物（minor crop）。然而，菊苣根亦可提煉出由直鏈果糖分子所組成的菊澱粉（inulin）聚合物，而菊澱粉則可兼具有食品與非食品用途。基此，歐盟提出菊苣轉型計畫

⁴ 影響澱粉合成的三種酵素，包括澱粉合成酵素（starch synthases）、澱粉支鏈酵素（starch-branching enzymes）和去支鏈酵素（debranching enzymes）。

(FAIR-CT97-3585)，其主要目標在於改善菊苣提煉菊澱粉的品質與數量，進而將菊苣轉型為高附加價值的非食品作物。

進言之，菊澱粉分子具有不同的聚合度 (degrees of polymerization, DP)，歐洲菊苣的原生種，可提煉出聚合度 10 的菊澱粉，僅適合食品工業產品使用。相對的，非食品產業所需要的菊澱粉品質，則要求較高的聚合度。因此，菊苣轉型計畫的目標，即希望藉由生物科技來改善菊苣根的新陳代謝，以生產出高聚合程度的菊澱粉。目前該計畫已從菊科 (Asteraceae family) 的野生品種，分離出植物根部控制菊澱粉結構的生物合成與分解速度之酵素基因，而經過基因轉殖的菊苣，即則可提煉出聚合度 15 的菊澱粉。因此，菊苣轉型計畫的成果，已成功將菊苣從原本的邊陲作物 (marginal crop)，提升為一種多功能的高價值農作物。再者，菊苣本身具有抗乾旱與低肥料需求的特性，且所需要的耕作技術與農場機械設備，與甜菜 (sugar beet) 相同，故可作為甜菜農民另類的耕種選擇，進而升級為歐洲的主流農業之一。

2、甜菜的果聚糖

果聚糖 (Fructans) 係指植物所儲藏的碳水化合物或醣類 (carbohydrate)，例如菊澱粉為儲存於菊苣根部的果聚糖。通常在甜菜生產蔗糖的過程中，果糖和葡萄糖多視為應予清除的雜質。然而，果聚糖擁有不同聚合度或不同支鏈結構的特性，包括直鏈果糖分子 (straight chains of fructose molecules) 與支鏈聚合果糖 (branched polymers of fructose) 等不同分子結構，故可配根據食品或非食品的特殊需求，量身訂製出符合工業用途的創新生物產品，諸如低卡路里代糖、減肥纖維與膨脹劑等生物產品。此外，果聚糖及其衍生物在非食品產品的應用上，則可作為生物可分解塑膠、去污劑、黏著劑與化妝品的產品原料。

有鑑於此，歐盟提出研發新型果聚糖的生物科技計畫 (FAIR-CT96-1896)，嘗試將傳統的糖類作物轉型為新型生物聚合物 (novel biopolymers) 的原料來源。諸如甜菜可生產不同的果聚糖、菊苣則可生產高聚合度的菊澱粉，以及穀類可生產出具特殊結構的澱粉。目前歐盟的果聚糖研發計畫，已成功修正甜菜 (Beta vulgaris) 的糖分子組合，簡單地說，蔗糖為一個葡萄糖分子和一個果糖分子所結合而成，而果聚糖則全部由果糖 (fructose) 所聚合而成。由於影響蔗糖轉換成果聚糖代謝的酵素基因，主要為果糖基轉移酵素 (fructosyltransferases)，因此該酵素經基因分離後，則可轉殖到甜菜中，進而使將原本儲藏於根部的 60% 蔗糖，轉變為果聚糖，使得甜菜成為提煉果聚糖的主要作物。相似的，若將洋蔥基因轉殖到甜菜中，則可生產出符合商業化水準的果寡糖 (fructan fructooligosaccharide, FOS) 之產量和純度。綜合而言，上述的醣類作物與生物聚合物原料作物的推廣，一方面，有助於提升歐洲農業的多樣性；另一方面，則可另行開發甜菜和穀類作物的非食品市場，並進一步降低傳統作物的經濟脆弱性

(vulnerability)。

3、生物塑膠

生物塑膠 (bioplastics) 係指由再生資源 (植物) 所生產的新型生物聚合物，因其生物可分解的特性，相較於合成塑膠，不僅具有較高的市場開發價值，更可作為環保工業的原料，並增加植物纖維的附加價值，諸如基因轉殖的馬鈴薯塊莖，即累積了大量的生物塑膠原料。再者，以生物聚酯 (biopolymers) 為例，因為聚酯為碳儲藏分子的另類表現形式，聚羥基脂肪酸 (polyhydroxyalkanoates, PHAs) 則是生物塑膠的重要原料，其主要的工業用途，分別為包裝材料與塗料原料，以及作為生物可分解容器的成份。由於 PHA 聚脂化合物係由細菌自然合成的能量儲存物，故歐洲先前已透過基因工程，成功將合成聚羥基酯類的細菌基因分離出來，並轉殖到原先無法產生聚羥基酯類的植物體內，經基因轉殖的澱粉類植物中，可萃取出高品質的聚羥基酯類。

進言上，歐盟自從 1992 年將細菌基因轉殖到擬南芥中，已合成出少量的聚羥基丁酸酯 (polyhydroxybutyrate, PHB)，而聚羥基酯類的合成，除可以強化基因轉殖植物原有的纖維特性之外，更可縮短作物工業應用的等待期。前者如增加棉花纖維的保溫性質；後者如亞麻、大麻纖維內含 0.3% 的聚羥基丁酸酯時，則可提早收成的時間。因此，聚羥基酯的研究成果，已引起業界極大的商業興趣。現行歐洲約有十種植物物種，可生產出具備從堅硬到有彈性等不同物理性質的聚羥基酯類型。基此，歐盟提出十個以上的聚羥基酯類研究計畫，其中，PHAstics 計畫 (FAIR-CT96-1780) 的目標，即嘗試將傳統的澱粉作物，轉型為生物可分解聚酯 (biodegradable polyesters) 的原料作物，希望透過該計畫，尋求符合聚羥基酯類商業化經營與大規模生產的作物種類。

此外，PHAstics 計畫的重要研究，包括已經確認聚羥基酯類生物合成的細菌代謝途徑，控制聚羥基酯類合成的酵素，以及澱粉作物生產聚羥基酯類所需的最低基因組。然而，推廣生物聚酯作物時，尚需解決商業化的技術瓶頸，如實驗室中的擬南芥，含有淨重近 40% 的聚羥基酯類含量，而田間作物的聚羥基酯類含量，必須達到上述的相同標準，才具有商業發展的價值。所幸生物聚合物的作物種類範圍極廣，未來的長期發展上，歐盟預計從海洋養殖場 (sea enclosures) 所栽種的海藻中，尋找可能生產生物塑膠的原料作物。

四、結語

生物科技應用於工業領域，其激發的生物經濟浪潮，不僅重新建構農業與工業間的新夥伴關係，更是實踐永續發展理念的農業政策新走向。進言之，從農業多功能性的施政架構下，藉助生物科技所展開的基因圖譜與生物精鍊基礎結構

(biorefinery infrastructures) 之探勘研究，一方面，可將傳統作物升級為多功能作物，進一步開發出生物性的聯合產品與副產品 (co-and byproducts)，以及有效活用生物廢棄物，如穀類作物莖稈再利用；另一方面，從地方性工業原料提供的角度而言，則可促進鄉村社區和鄉村產業的振興。

惟生物經濟的發展，不單純為生物科技的政策議題，尚涉及環境保護的法制化，以消費安全的風險溝通問題，特別是對於基因改造食品的市場流通規範，或是生物產品與基因改造食品的脫鉤管理。綜合言之，工業用途的生物產品研發，其牽涉的基因改造植物與生物安全之科技倫理爭議，雖然研究成果商業化的阻力較小，但為了增加一般民眾對生物產品的接受度，以及降低非政府組織的疑慮。基此，歐盟發展生物經濟的重要配套措施，則強調政策決策者、生產者與消費者三類利害關係人的推廣教育 (European Communities, 2004: 8-9)，茲說明如後：

1. 對政策決策者的推廣教育重點：倡議對促進與監管生物產品的相關法規議題之討論，以加速生物經濟的立法工作，強化生物科技企業與立法機構的連結關係，諸如歐洲藥物評估署 (European agency for the evaluation of medicinal products, EMEA)、食品藥物管理局 (Food and Drug Administration, FDA)、歐洲標準化委員會 (European Committee for Standardization, CEN)、歐洲議會與農業機關等。
2. 對農民的推廣教育重點：在鄉村地區中，加強宣導生物經濟作物的發展優勢，歐洲共同農業政策的改革措施，生物產品的綠色經濟潛力，以及重新包裝生物產品的市場利基，諸如另類的土地利用方式、另類的農場收入來源、生物產品研發與生物多樣性和永續農業發展之關係。
3. 對消費者推廣教育重點：提高消費者對生物產品的接受度、擴大生物產品的工業的需求，生物經濟與氣候變遷的關係，諸如生質能作為永續能源的來源、生物產品的低毒性風險、廚餘堆肥的再利用，以及環保產品 (eco-product) 的低污染性與自然感 (naturalness)。

參考文獻

1. European Communities, 2004, Towards A European Knowledge-Based Bioeconomy - EUR 21459, Luxembourg:Office for Official Publications of the European Communities, browse in 2006.04, http://europa.eu.int/comm/research/agriculture/pdf/towards_know-based_bioeconomy.pdf.
2. http://whatis.techtarget.com/definition/0,,sid9_gci1109187,00.html.
3. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2004,

Biotechnology for Sustainable Growth and Development.

4. OECD, 2005, The Bioeconomy To 2030: Designing A Policy Agenda.
5. 王俊豪，2005 年 7 月，德國再生原料與生物能源之發展，農政與農情 157：78-83，台北：豐年社。
6. 劉姪與徐峰，氫能與氫經濟，瀏覽於 2006.04，<http://database.cpst.net.cn/popul/xsjlrldt/artic/60113141257.html>