

預估2030年
在OECD地區中，
生物技術能夠促進國內
GDP生產總值的2.7%，
其經濟貢獻最大莫過於
生物技術對工業
和農業的應用。
事實上，不同的生物技術
至2030年如何成功
導入商品化？
其中兩個關鍵因素，
即是生物技術研究
導致成功的創新，
與法規的改變和體制政策。
換言之，生物技術
在科學上和技術上的問題
在未來能夠獲得解決，
新的技術皆可走向商品
或接近商業化階段，
因此本文就農業、醫療保健
和工業為主要應用領域，
描述生物技術在未來可能
存在於此產業的商業模式。

Bio-Economy 2030

生物經濟的情境模擬

李宜映·楊玉婷

著名化學家，諾貝爾獎得主羅伯特·科爾曾經說過，21世紀將是生物科學的世紀。比爾蓋茲也認為，21世紀是資訊網路和生物科技兩種產業的世紀。而Time雜誌在最近的一篇報導中指出，人類目前正處於資訊時代，但是至2020年，經濟的主導型式將轉變為「生物經濟」，基因工程與生物科技將成為人類經濟的主流，其應用將滲入人類生活中各個領域，成為推動經濟繁榮的新「引擎」。

未來是一個日益多元化的世界，沒有一個國家或地區可主宰整個世界的事務。凡複雜化科學問題或不當的法規，皆會影響未來的國際合作和技術競爭力，進而可能會減少生物技術在工業的競爭力，而公眾的態度也可能會導致某些生物技術無法達到它們的潛力。欲窺究生物經濟在2030年的可能樣貌，本文將以兩種角度，並考量政策與管理制度之因素，提出對生物經濟在未來發展的可能情境。

對於醫療保健產業，幾乎所有的研究開發、新穎診斷方法和藥品，皆將使用生物技術，例如標靶藥物、藥物傳輸系統，或根據病人遺傳特徵給予處方……。

附表 2030年生物技術在市場可能存在的商業模式

農業	醫療保健	工業
分子標記輔助技術廣泛使用在植物，牲畜，魚類和貝類養殖	許多新的藥物和疫苗，部分基於生物技術知識，每年獲得銷售批准	可廣泛應用在化工產業上的改良酵素
轉基因品種主要作物和樹木，其澱粉、油、木質素的含量經改良後，可以提高工業的加工轉化率	藥理遺傳學在臨床試驗和處方上的實際應用，使某些特定治療法的病人百分比下降	經改良後的微生物，能夠在一個步驟產生更多的化工產品
轉基因植物和動物，可生產藥物和其他有價值的化合物	由於連接藥理遺傳學數據、處方數據和長期健康結果，對治療方法之安全性和有效性有所改善	生物感測器可即時監測環境污染物和進行生物辨識
高產量之主要糧食和飼料作物品種改良，透過基因轉殖、分子標示育種、同種基因轉殖等技術，進行抗蟲害和抗逆境的能力開發	廣泛篩選多種常見疾病之遺傳危險因素，例如關節炎	來自甘蔗和纖維素生質能源之高密度度的生物燃料生產
更多家畜，魚類和貝類的遺傳特性和疾病的鑑定法	以生物技術和奈米技術改進藥物傳輸系統	生物材料，如生物塑料占市場大部分比例，特別是在一些領域，它們具有一些優勢
選殖高價值的動物育種養殖	新的保健食品，有些由轉基因微生物和其他植物或海洋提取物生產	
發展中國家使用轉基因技術，加強主要糧食作物的維生素或微量營養素	低成本之慢性疾病基因檢測評估技術，如關節炎，II型糖尿病，心臟病和一些癌症	

資料來源：OECD (2009), The Bioeconomy of 2030, 本文整理。

2030年生物技術對產業應用之商業模式

預估2030年在OECD地區中，生物技術能夠促進國內GDP生產總值的2.7%，其經濟貢獻最大莫過於生物技術對工業和農業的應用。在發展中國家，由於更重視這兩個產業的經濟，因此生物技術在其經濟貢獻會更大。事實上，不同的生物技術至2030年如何成功導入商品化，其中兩個關鍵因素，即是生物技術研究導致成功的創新，另一為法規的改變和體制政策。換言之，生物技術在科學上和技術上的問題於未來能夠獲得解決，加上幾個主要市場的管理和體制也已經健全，許多生物技術皆可走向商品

或接近商業化階段。以下就農業、醫療保健和工業為主要應用領域，描述生物技術在未來可能存在於此產業的商業模式（附表）。

對於農業領域，生物技術已經被廣泛用於動植物疾病的診斷，以及農林漁牧新品種的開發，育種的技術包括基因轉殖、基因洗牌(Gene shuffling)和分子標記輔助技術(MAS)等。2030年生物技術在農業的商業模式，可能在動植物來源的食物，以及植物來源的飼料和纖維之普及化生產。

對於醫療保健產業，幾乎所有的研究開發、新穎診斷方法和藥品，皆將使用生物技術，例如標靶藥物(Drug target)、藥物傳輸系統(Drug

delivery)，或根據病人遺傳特徵給予處方。另一方面，藥理遺傳學(Pharmacogenetics)和醫療紀錄將進行連結，未來將可透過處方、病人行為因素、遺傳數據和長期健康結果作對照和分析，藉由確定藥物的不良反應、藥物的相互作用，以及其他可能對健康造成不利影響之因素，大幅改善治療的安全性和效能。另外，再生醫學到2030年將更具可行性，如治療糖尿病或修復受損組織之心臟、肺或肝臟等器官，在未來將有突破性發展。

生物技術在工業上應用至2030年可能會繼續增加，主要為生產各種工業製程的酵素；利用微生物的生物反應器，以單一步驟合成高價值化學品和塑料，以及從甘蔗作物和纖維素生產高能量密度的燃料。另外到2030年，生質能源亦面臨永續性替代能源的競爭，因此不再使用生物質（或稱生質能，Biomass），而從微生物或藻類萃取、大規模商業化生產生物燃料是否能夠實現，將取決於量產至商品化之技術難度和政府投資態度。

生物技術產生最大的經濟影響，主要在於醫療保健、農業和工業應用等三大領域。粗估生物技術對附加價值毛額(Gross value added)的最大貢獻在歐盟25國和美國，其分別為5.6%和5.8%。生物技術對於OECD及其他歐洲國家之附加價值毛額潛在貢獻將達到1兆620億美元，分別在健康醫療產業為2,590億美元，在初級產業上為3,810億美元，在工業上為4,220億美元。相較於OECD國家，發展中國家更重視國內工業和農業之生產總值，因此生物技術在這些國家中，可能占有更高的國內產值比例。反之，已開發國家因具有先進的開發能力和市場需

求，因此，利用生物技術開發藥品和醫療器材占有較大之國內產值比例。

2030生物經濟之未來樣貌

情境分析是一種策略規劃工具，透過廣泛的政治和私人的判斷去思考未來的影響。OECD先根據生物技術在商品、製程的成功，以及法規與政策的管理等兩大關鍵因素，分別對農業、工業和醫療保健建立六種情境，再合併為依現狀發展(Muddling Through)和非均衡發展(Uneven Development)之兩種情境發展其相關內涵，以下分別針對不同時期，其三種產業在兩種情境下的可能發展進行描述。

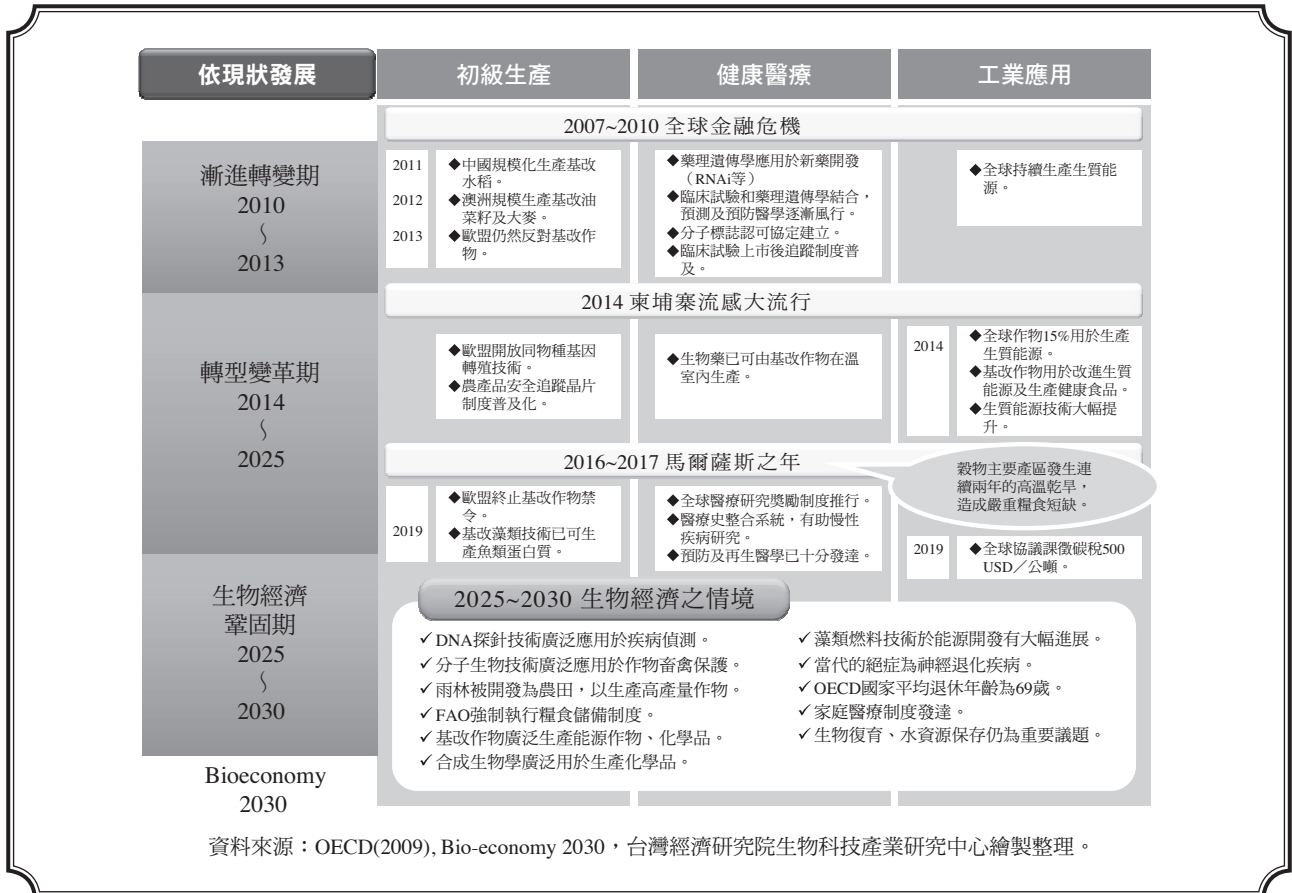
(一) 情境一：依現狀發展

在2007~2010年發生全球性金融危機，原物料上漲帶動了相關生物技術發展，使得在2009~2013年間，生物技術在農業和工業應用上的研究與企業投資皆持續成長。政府也同時補助生物技術的研究和投資，以作為經濟發展的新方案。另外，過去對高風險科技投資的時代已經結束，投資面將轉向低風險且可短期回收的領域，包括醫療器材、診斷檢測、生物能源(Bioenergy)，以及農業生技（圖1）。

在2016~2017年稱為「馬爾薩斯之年」，穀物主要產區持續兩年的乾旱和高溫，造成史上穀物供應的新低點及價格新高點。此事件突顯出耐旱基改作物的價值，於是歐盟決定終止其基改作物的禁令，同時也引起國際間對氣候變遷的警覺，逐步達成高額碳稅(Carbon tax)的協議，使溫室氣體的排放顯著降低。能源的節約更受重視，生質能源等低碳能源的投資也大幅增加。

在2019年，對醫療研究的獎勵和贊助，由以

圖1 依現狀發展之生物經濟未來樣貌

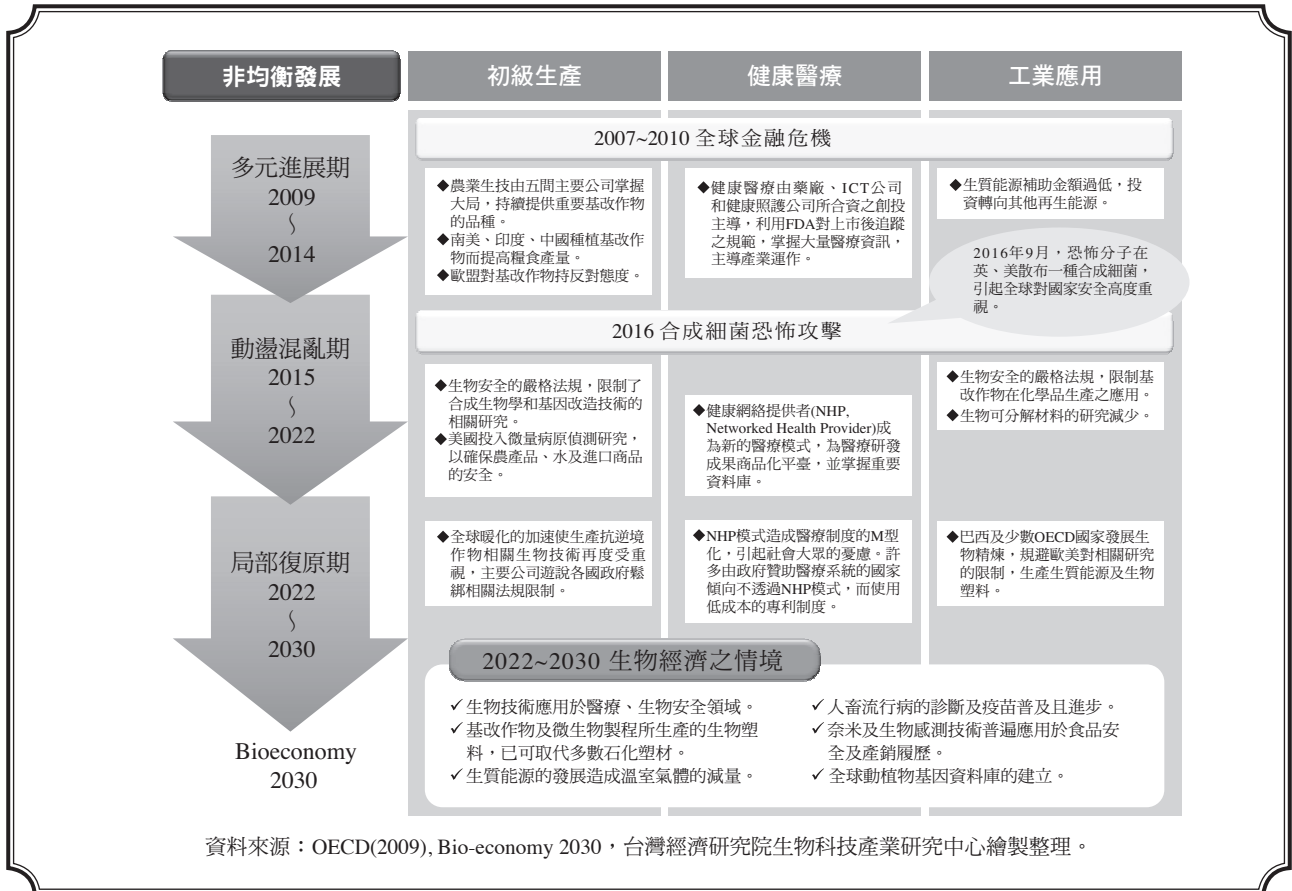


往的專利制度轉為全球獎勵制度，使得藥廠積極開發出各種對健康有益的新藥品。在過去的專利制度下，以幹細胞和組織工程為基礎的療法無法有效受到保護，故再生醫學的投資獲利不大，而新的獎勵制度則促成醫療器材和再生醫學研發資金的增加。

在2025~2030年間，因生物技術廣泛應用在農業，使得生物經濟地位更加鞏固。全球對糧食和燃料需求大增，然而因為國際間對農產品、生物化學品和高密度生物燃料的環境衝擊評估標準缺乏共識，使得在南美、非洲的大

草原和雨林轉為耕作及畜牧用地，造成碳存量大量的釋出。而醫療保健的研究重點，部分由製藥產業轉變為再生醫學、診斷醫療和外科技術，預測及預防醫學在預防和延緩某些癌症方面有所突破，胚胎的遺傳疾病和高風險篩檢也已相當普及，但由於沒有有效可行的療法，導致預防檢測帶來更多焦慮，一般民眾仍反對兒童或成人接受測試。另外醫療措施趨於自動化和個人化，資訊系統支援之治療方案(Treatment regime)可分析檢測結果和遺傳、醫療史、個人行為及環境之相關性。因醫療管理系統的強

圖2 非均衡發展之生物經濟未來樣貌



化，使醫生更容易掌握最佳治療方法。

上述情境是生物技術在良好的管理和結合高技術性競爭力之基礎下，被廣泛應用而得到正面結果。良好的管理需要國際間積極來共同運作，例如往後幾年各國在面臨糧食短缺、氣候變遷等重要議題時能達成共識，所建立的信賴關係也促使國際合作。但具爭議性的議題，仍需仰賴所有成員之間的協議，以達成國際共識。若各國各自追求自身利益，其措施無法相互協調且管理不良，則可能因資源短缺和氣候變遷導致貿易上的摩擦，而使得產業發展失敗。

在預測2030生物經濟之未來樣貌時，模擬出依現狀發展、非均衡發展的兩種情境，其中或許會引起政治上的危機，但也開啟很多機會，引導政府面臨經濟危機、糧食短缺或流行疾病，繼而提出因應對策，並形塑生物經濟的未來。

(二) 情境二：非均衡發展

在2009~2014年間，農業生技主要由五間公司主導，農業生物技術以過去的成功經驗為基礎而持續發展，藉由基因改造技術，持續提供玉

米、小麥、稻米和大豆的改良品種。基改作物在歐洲並未開放，但生質能源的生產在美國及歐洲皆蓬勃發展。另外，運輸燃料可含生物燃料的授權通過，雖有利於許多作物製造纖維素生物燃料的投資，但由於技術限制以及補助金額過低，投資者轉向太陽和地熱能源。來自非政府組織的壓力，亦使歐洲在2014年完全停止對生物燃料的補貼。醫療保健方面，FDA對醫藥品的上市後追蹤，以及藥理遺傳學資訊於臨床試驗之應用的強制規範，造成一間合資的大型企業崛起。世界最大的兩間藥廠、美國的一間資通訊技術公司和一間個人健康照護公司合資成為創投，並利用FDA規範而快速成長。合資的藥廠協議對健康照護公司降低藥品售價，並可使用其提供的會員資訊和延伸醫療資料庫系統，資通訊公司則可藉此掌握自動化診斷和家庭醫療產品的潛在市場。在環境方面，國際間對於溫室氣體並未達成共識，全球氣溫的升高自2007年起顯著減少，故氣候變遷議題隨之冷卻。氣候學者預測地球軌道的長週期變化，僅能使氣候變遷的發生延緩十年，但科學家的警告未受正視（圖2）。

在2016年，恐怖分子製造致死細菌或病毒的能力，為OECD地區帶來衝擊，各國政府立刻將國家安全列為優先考量，對於合成生物和基因改造生物的研究領域，嚴格執行安全性的限制。農業及工業上由於相關成本提高，許多公司放棄該領域的研究計畫，此效應在已開發國家尤為嚴重。安全性考量亦使OECD各國政府加速執行石化燃料的替代性能源方案，包括興建核能電廠。同時，生物安全研究也帶來許多益處，例如人類疾病和動植物疫病蟲害診斷晶

片(Diagnostic arrays)的價格更為低廉，醫生可以快速診斷疾病是由病毒還是細菌引起，故可避免抗生素濫用及抗藥性的發生。在醫療保健方面，50%以上的私人研發資金投入診斷和再生醫學領域，醫藥生技不再由藥物開發主宰。合資的大型創投在2020年結束營業，取而代之的是由資通訊公司和健康照護公司所主導之新事業模型，稱為健康網絡提供者(Networked Health Provider, NHP)。NHP模式可以整合新科技，建立新的專業知識技能，越過法規屏障而達成創新。由於NHP採用新醫療器材和再生醫學療法，獲利相當可觀，印度和中國也仿照推動此一模式。

由2022~2030年期間，農業和工業領域的生物技術開始復甦。巴西和少數非OECD國家發展生物煉製(biorefinery)，生產高密度生物燃料和生物塑料，已具經濟競爭力。由於歐美對相關研究的限制，在過去由歐洲酵素公司主導的專業知識和操作模式，從此轉移到海外的開發中國家。溫室氣體和氣候變遷在2027年成為重要的全球議題，故利用基改技術和其他生物科技，開發新抗逆境品種作物再度受到重視。中國和印度為此領域的先驅，工業和農企業皆遊說OECD各國政府，鬆綁某些生物技術的使用限制。健康醫療方面，雖然NHP模式十分成功，高度透明的M型醫療制度仍引起大眾的疑慮，因為NHP會員可負擔較好的醫療保費、得到較好的醫療照護，而其他人只能使用其他健康照護機構的服務。

本情境描述的某些問題是由於生物技術之競爭力差異所引起，若政治決策不良，其問題會繼續惡化。雖然恐怖分子攻擊導致的安全措

施，終究帶來許多有益的創新，但同時扼殺農業和工業生技的成長，因此若能仔細規劃系統性政策以支持生物安全、農業及工業生技，或可避免某些問題。醫藥產業的生物技術由創新的機構支援，可將相關醫療研究和治療方法結合，並提供醫療服務，然而其獲利卻並未具共享性，也使得許多國家逐漸放棄可鼓勵醫療研究投資的專利制度。

最後情境中所提到的環境變遷議題，由於十年內全球溫度增加不大，而使其受到的關切度降溫，直到最後全球變遷反撲時，問題才再度受到重視，但解決之道卻治標不治本，主要因應發展之道，仍以可適應高溫和乾旱環境的作物品種為主，而非減少溫室氣體的排放。

可能引起政治危機，卻開啟更多機會

因2030年全球人口將增加至83億，同時增加食品、飼料、能源、肥料和潔淨水之需求量。日益增長的人口和收入，在2030年之生物技術對開發中國家如巴西、印度、中國和南非，在工業和初級產業的消費將占很大比例。由於生物技術上的重要性提升，將會改變該國未來高素質人力、研發、市場、競爭和貿易型態。

本文提到兩個情境中的許多事件，雖然可能會引起政治上的危機，但也開啟很多機會，政府如何面臨經濟危機、糧食短缺或流行疾病而提出因應對策，可以形塑生物經濟的未來樣貌。未來同時也會受國際合作的影響，尤其是開發中國家，以及對於研究和商品化的獎勵機制。獎勵機制可以影響具商品化潛力的生物科技之推廣，獎勵的結構也可能促使環境永續技術發展。

雖然本文所提情境的內涵是虛構的，但可了解良好管理的重要性，即必須有良好的政策規劃來支持現行的生物經濟進展，因此有彈性的政策將可在危機發生前預見未來，並作出有效的因應措施。■

（作者為台灣經濟研究院副研究員、助理研究員）

■ 參考文獻

OECD The Bioeconomy to 2030- Designing a Policy Agenda; p193~232, 2009.