

# 從澳洲生物經濟政策論 生物精煉發展趨勢及策略

撰文/陳世廷

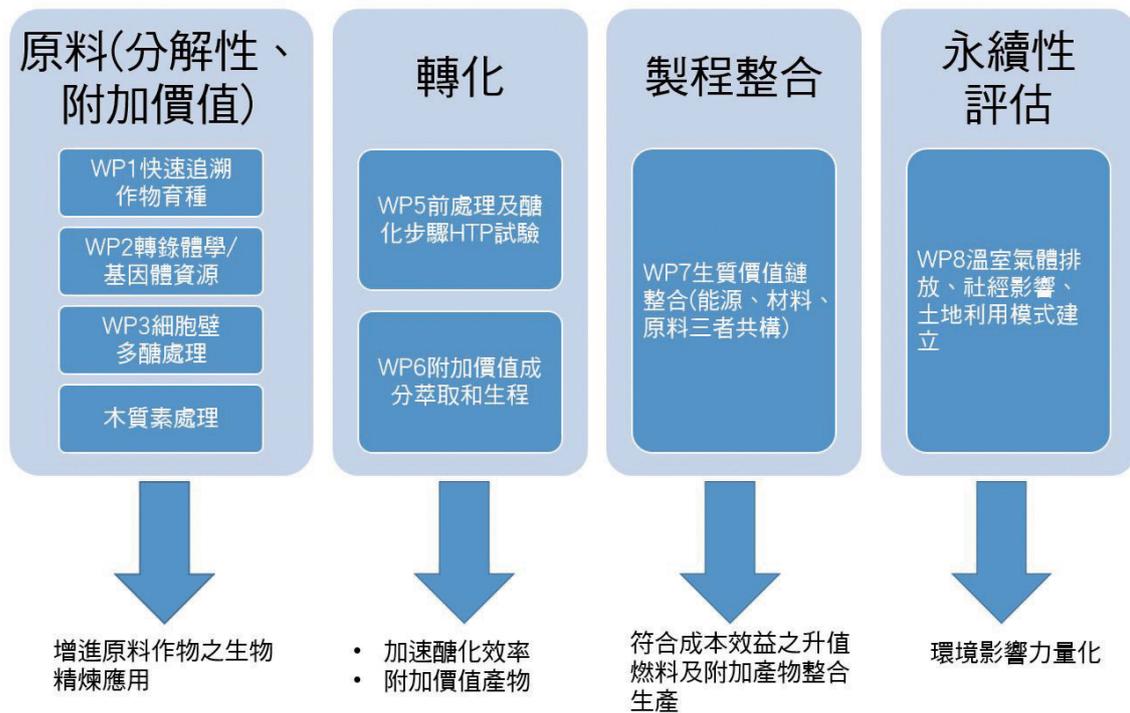
## 全球生物精煉發展

面對未來全球人口成長，如何生產充足的糧食與能源、有效運用有限的資源，成為當前急迫的課題，再加上全球氣候變遷現象更是雪上加霜，人們面對空前嚴峻挑戰的時刻，生物科技延伸的綠色概念科技成為已開發國家發展永續經營的方向，開發中國家也將環境議題納入推動成長的權衡要素。各國皆研發將生物技術結合工業、能源、環保等產業，運用「工業生技」扭轉資源耗竭的命運，開創潔淨科技、永續成長的新局面。

工業生技 (industrial biotechnology) 是將生物、微生物、酵素資源轉化應用於各種產業，包括以生物原料取代石化原料所製造的生質能源、生物材料等產品，或是將生物資材用於提高製程效率、減少反應步驟、降低汙染。以應用層面而言，工業生技是指將生物技術用於酵素、化學品、材料、能源之製造與生產，其中工業酵素、生物精煉、生物材料皆是目前深受重視並積極商業化的項目。另外生物技術於環境監測、生物復育、資源開採、廢棄物資源化等方面也有相關應用。

生物精煉 (biorefinery) 是將生物質 (或稱生質能, biomass) 轉化為化學品或能源，生質能源即是透過生物精煉，用生物製造能源，由於涉及能源安全及降低溫室氣體排放兩大目標，各國祭出補助措施輔導該產業成形。過去第一代生質燃料指以油脂類作物 (大豆、種子等) 轉換成生質柴油，以及

醣類、澱粉作物 (甘蔗、玉米等) 轉換成酒精，其需廣大面積栽種能源作物，連帶造成缺糧與物價上漲等問題。此外，因化學肥料被大量施用，肥料中的氮會轉成氧化亞氮 ( $N_2O$ ) 排放，其全球增溫潛勢 (Global Warming Potential, GWP) 是二氧化碳的 296 倍，為生質能發展帶來新的挑戰。然而隨著時代演進開啟了第二代生質能源的製造，使用木質纖維素 (lignocellulose) 為原料製作生質燃料，與醣類、澱粉類作物不同的是木質纖維素大量存在於地球上的草本與木本植物，以及各式農業、木材與其他廢棄物之中，使得生質能發展不需要大量使用現有的糧食作物，且因其來源多且廣，將可減緩糧食與能源間的衝突，並延緩過度開墾問題。目前歐盟和巴西合作共同針對第二代生質能源投入研發，設法從甘蔗、玉米及芒草之木質纖維素製造生物酒精，並降低製造成本及增加其轉換效率 (圖一)，企業的部分如美國企業杜邦公司 (DuPont) 用玉米稈、柳枝稷 (switch grass) 等材料製造纖維素酒精 (cellulosic ethanol)，並與 Danisco 合作，結合雙方的精煉技術與酵素專長 (酵素公司 Genencor 被併入 Danisco 旗下) 加速研發 (圖二)。此外，杜邦公司 (DuPont) 還與英國石油公司 British Petroleum 合作開發生質丁醇，雖然丁醇與乙醇皆為酒精，但丁醇可提高汽油混合比例，且比起乙醇更適合使用現有的汽油管線進行運送與儲存。由於僅需變更少部分設備即可使用現有的生質乙醇廠製備丁醇，生質丁醇可謂下一



資料來源：SUNLIBB；台灣經濟研究院生物科技產業中心編譯(2016)。

圖一 歐盟生物精煉永續液態生質燃料計畫(Sustainable Liquid Biofuels from Biomass Biorefining, SUNLIBB)

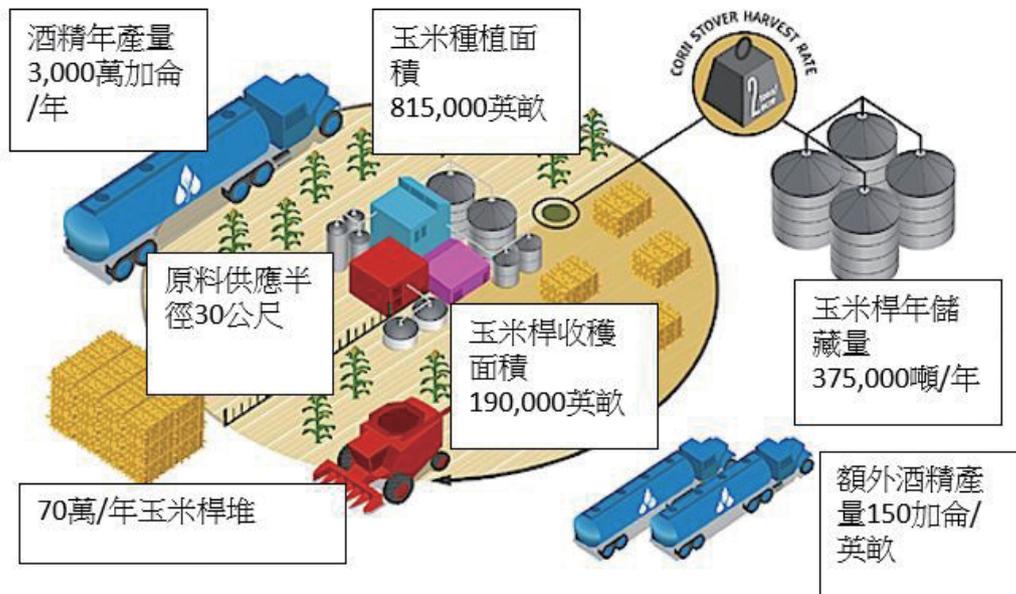
代的生質酒精。

生物材料是將生物為原料製造之化學品加工製成各種材料，例如用生物聚合物製成生物塑膠。生物塑膠又分為生物可分解與生物不可分解兩類，生物可分解的生物材料強調產品可經由堆肥作用回歸自然的低污染性，常用於拋棄式產品，例如塑膠袋、農業覆蓋膜、食物容器、盤子與杯子等。生物不可分解的生物材料則用於耐久性產品，例如電子儀器、汽車、紡織品、不織布等，強調其來自天然、減少溫室氣體排放等優點，經由回收再利用達到環保目的。2009 年全球最大的飲料公司可口可樂推出其創新的 PlantBottle™ 聚酯塑膠瓶，PlantBottle 包裝的製作是透過將甘蔗和糖漿轉化為聚酯塑膠。此外，這種材料可以 100% 回收，而且初步研究顯示 (Mackenzie Anderson, 2015)，從植物材料的種植到樹脂的生產，PlantBottle 包裝產生的碳足跡小於傳統聚酯製作的塑膠瓶。目前已有 350 億個

PlantBottle 在 40 個國家流通，減少相當於 743,000 桶石油燃燒的碳排放量，以及節省 3,600 萬加侖的汽油。2015 年米蘭世界博覽會可口可樂公司發表 PlantBottle 2.0，推出 100% 完全由植物（甘蔗渣）製造的 PET 塑膠瓶，並預計要在 2020 年將市面上所有 PET 塑膠瓶都轉變成 PlantBottle 2.0 塑膠瓶。

美國企業 Cargill 用玉米發酵生產聚乳酸 (polylactic acid, PLA)，製造生物可分解塑料及纖維 (圖三)，並以 NatureWorks®、Ingeo™ 品牌行銷。NatureWorks 擁有全世界最大產能的 PLA 工廠，年產能達三億磅，相當於 14 萬公噸。PLA 已被用於製造一般民生用品，例如塑膠盒、塑膠袋、布料等，美國最大的連鎖超市 Walmart、英國連鎖百貨 Marks & Spencer，甚至麥當勞都採用生物可分解生物塑膠，由於藉此措施拉攏消費者的企業也愈來愈多，帶動生物塑膠應用普及化。

隨著上述各項新技術之商業化，加上歐盟等



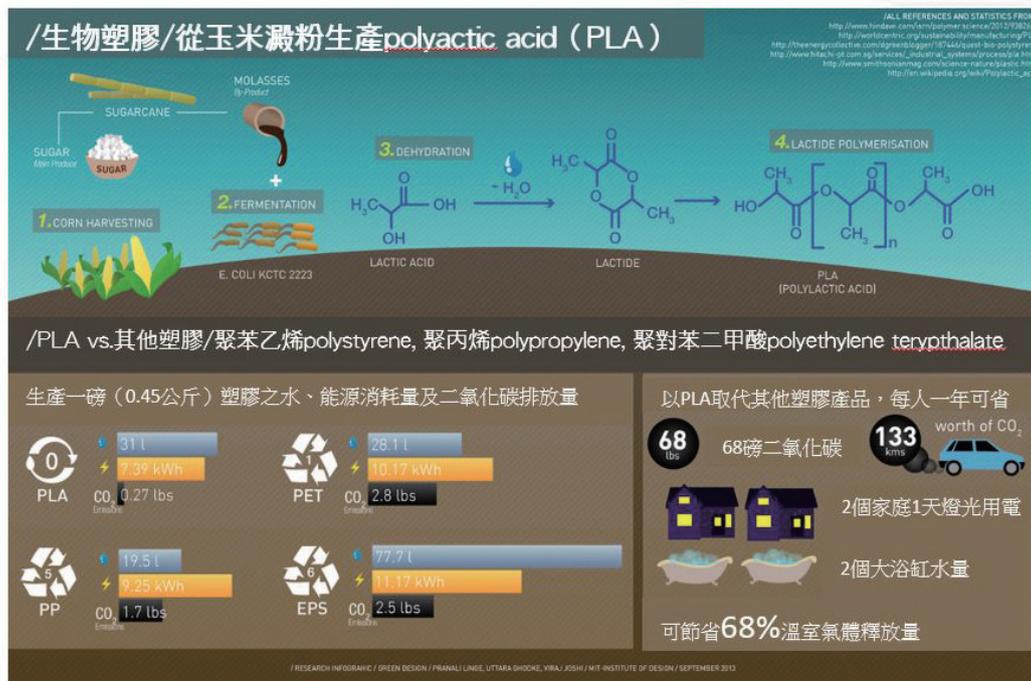
資料來源：Dupont (2015)；台灣經濟研究院生物科技產業中心編譯(2016)。

圖二 杜邦公司纖維素酒精生產模式

先進國家陸續推出各種環保規範的壓力下，預期工業界採用生物技術製程、生物資材的比例將持續提高。美國農業部 (USDA) 預測全球生技產品占化學品比例將從 2005 年的 1.8%，提高至 2025 年的 22.1~28.1%，產值從 212 億美元成長為 4,830 億至 6,140 億美元。生物技術除了可改善初級產業生產、降低工業製程的廢料與汙染外，亦有利於環境復育及監控。目前已有利用植物、微生物來進行重金屬吸收、毒物分解的實例，例如日本用水稻吸收重金屬鎘，進行生物復育。後續研發方向為利用分子標誌輔助技術、基因工程技術、代謝工程研究等工具提升植物、微生物對於極端環境的耐受度，以增加環境復育的應用範圍。整體而言，將生物技術整合至其他產業的創新發展，儼然成為現代科技潮流，工業生技則完全符合這個宏觀趨勢。預期未來各種工業製程採用生物技術的現象將更普遍，且石化工業被工業生技取代的比例將逐漸擴大，甚至影響工業生產的本質。

## 澳洲生物經濟政策與投資環境

根據經濟部投資業務處的資料 (2015)，澳洲幅員 769.2 萬平方公里，面積排名全球第六位，約等同美國本土面積，約台灣 200 倍大，因採開放移民及鼓勵生育政策，2014 年 9 月人口達 2,358 萬人，居全球第 52 位。依據世界銀行 (World Bank) 2013 年統計，澳洲為全球第 12 大經濟體，為我國第 13 大貿易夥伴，經濟規模達 1 兆 5,604 億美元，平均國民所得澳幣 67,932 元，全球排名第五位。美國傳統基金會 2014 年評比澳洲之經濟自由度為全球第三，瑞士洛桑管理學院 (IMD) 之全球競爭力排名多項指標均評列澳洲在前十名，經濟合作暨發展組織之國家幸福指數報告亦予澳洲在生活滿意度、平均壽命、空氣汙染程度、就業機會及家庭所得各項高度評價。澳洲因有豐沛天然資源、穩定社經環境及友好寬廣之國際政經發展空間，廣受各國稱羨，預期澳洲於未來 10-15 年均將持續繁榮與發展。



資料來源：SelfEco；台灣經濟研究院生物科技產業中心編譯(2016)。

圖三 PLA塑膠製程和其他種類塑膠水資源及能源消耗量比較

依據澳洲統計局資料 (2014)，2013 年澳洲總農業產值為澳幣 480.5 億元，年成長率約為 3%，其中農作物為 280.5 億元，肉類畜產品為 132.9 億元，奶及羊毛等畜產品為 68.1 億元。重要作物如小麥受惠於出口需求強勁，產值達 71.5 億元，其次為水果產值 48.2 億元，以及蔬菜 37.7 億元。

澳洲昆士蘭農業生產量占全澳洲的 1/3，由於氣候環境適合我國熱帶及亞熱帶品種發展，且當地農業環境的優點包含位於熱帶及亞熱帶氣候區、耕地面積達 2,000 萬公頃、甘蔗年產量約 3,000 萬噸，具有多座國際機場及完整的鐵路網絡，對於發展工業生技有巨大的優勢 (表一)，昆士蘭貿易投資局 (Trade & Investment Queensland) 為昆士蘭州政府的全球業務辦公室，協助出口業者進入新興市場，並促進昆士蘭成為亞太地區的營運總部。

目前昆士蘭對亞太地區之營運重點城市為北昆士蘭的凱恩斯 (Cairns)，凱恩斯位處熱帶地區，除了擁有吸引世界各地遊客的大堡礁和熱帶雨林外，商

業貿易發展更是一枝獨秀，為昆士蘭州的旅遊和商業貿易重鎮。農業和漁業豐富的北昆士蘭，盛產豐富的熱帶水果，如：芒果、紅毛丹等，除此之外蔬菜和甘蔗更是全國知名產品。現已有不計其數的各類美味水果經由 Tong Sing 水果蔬菜出口公司，由凱恩斯海港經貨櫃寄往香港和廣州。由於昆士蘭政府協力支持發展，加上昆士蘭旅遊局，昆士蘭州發展與創新部和凱恩斯港務局的共同開拓，凱恩斯的人口成長速度遠超過澳洲北部其他城市，成為目前澳洲北部人口最多的城市。另外其國際機場的繁忙度已名列全國第五位，並預計到 2019 年將會增加名古屋、台灣、北京、廣州、深圳、首爾等直飛航線，加深澳洲和亞太地區的經貿往來。

根據世界經濟論壇的預測 (State of Queensland, Department of State Development, 2015)，2020 年全球生質能源、生物化學品、生物塑膠等產業之市場規模將會到達 1,000 億美元，而昆士蘭科技大學 (Queensland University of Technology, QUT) 預測在

表一 澳洲昆士蘭州產業投資發展環境之優勢

構面	說明
氣候	昆士蘭州為熱帶及亞熱帶氣候，可生產高產量高品質之原料，也為熱帶地區極少數已發展國家
土地	昆士蘭州具有2,000萬公頃可耕地，適合甘蔗、林業及其他需要大面積栽培的原料作物
原料	全澳洲甘蔗產量約3,000萬公噸，昆士蘭占94%，同時占了全澳洲高粱產量的2/3，其他原料作物包含：原生草種、尤加利樹、藻類等
基礎建設	<p>昆士蘭農業具有堅實的基礎建設，為通往國際市場的區域中心：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 四座國際機場、56座受認證機場</li> <li>· 177,000公里現代平面公路網絡</li> <li>· 10,000公里載貨鐵路</li> <li>· 15座海港及七座貨輪港</li> <li>· 先進甘蔗及林業加工設施</li> <li>· 九所頂尖大學</li> </ul>

資料來源：Queensland Government；台灣經濟研究院生物科技產業中心整理(2016)。

2035年所有生物科技衍生產品將對昆士蘭地區貢獻總產值18億美元，以及創造6,640個工作機會。為了幫助工業生技在昆士蘭的發展，昆士蘭目前已有三座商業規模之生質能源精煉場，超過1.7億公升可提供國內運輸系統的總產能。在研發方面，昆士蘭政府設立澳洲永續能源機構 (Australian Renewable Energy Agency) 進行生質能源評估計畫 (Australian Biomass for Bioenergy Assessment)，加速永續能源之研發，研發方向為永續航太燃料、工業酵素、科技經濟、供應鏈整合及製程優化等，北昆士蘭主要是以甘蔗殘渣進行聚乙烯 (PE) 生產、Whitsundays 地區由甘蔗梗提煉琥珀酸 (succinic acid)、中部地區以鐮葉相思樹 (brigalow, *Acacia harpophylla*) 發展航太燃料、Wide Bay/Burnett 地區以甜高粱 (sweet sorghum) 提煉生質乙醇，由林木廢棄物提煉化妝品重要成分乙醯丙酸 (levulinic acid)、Darling Down/South West 地區以高粱 (sorghum) 稈提煉生質乙醇 (圖四、表二)。

學術研究單位積極與世界知名公司合作，例

如：QUT 和世界知名食品飲料公司 Asahi 共同進行 QUT Mackay Renewable Biocommodities Pilot Plant 計畫，進行生物精煉的整合及研發，昆士蘭政府也針對此計畫投入澳幣 3.1 百萬元。昆士蘭 Stanwell and James Cook University、MBD Energy、Solar Biofuels Research Centre 共同合作進行 Tarong Algal Synthesiser Display Plant 計畫。嬌生公司 (Johnson & Johnson) 也和 QUT 及昆士蘭政府簽訂合作備忘錄並於布里斯班設立共同辦公室，除了與上述公司合作以外，尚包含許多知名國際企業如 Amyris、Boeing、Dow、Dupont、LanzaTech、Neste Oil、Novozymes、Proctor and Gamble、Qantas、Siemens、Syngenta、Virgin Australia、Wilmar and SkyNRG 等，昆士蘭政府除了致力推展國內生物精煉研發外，也積極進行跨國合作，目前跨國合作計畫成功者包含中國之國營事業在澳洲投資的蔗糖事業 (China National Cereal Oil and Foodstuffs Corporation)，投資金額約澳幣 126 百萬元，所生產的白砂糖全數外銷。Mitr Phol 公司是泰國最大的糖



資料來源：Queensland Government；台灣經濟研究院生物科技產業中心編譯(2015)。

圖四 澳洲昆士蘭州各地區生物精煉之目標作物及目標產物

及生質能源公司，在澳洲種植 8,000 公頃甘蔗，每年生產 55 萬噸的糖，且預計會再次投資進行生質酒精的生產，希望藉由以上規劃建構昆士蘭未來十年生物經濟發展。

## 台灣生物精煉發展現況與展望

現在有許多科學家開始研究使用藻類或藍菌作為另一種生物燃料的原料(第三代生質燃料)，應用的層面包括生質柴油、甲醇、乙醇、甲烷，甚至氫燃料。以大麻作為原料的研究也在增加，但大麻的研究還得面對法律方面的問題(為了避免毒品問題而對大麻種植的限制)。巨皇草(Giant King Grass)收成快體積大，燃燒時與煤炭的能量比為 5:3，所以五噸可以取代三噸煤炭，另外該草不必像生物柴油一樣經過提煉過程為液態才能使用，簡單加工後可以直接燃燒，適用經濟較貧困的地區或低成本產業，所以巨皇草已經被列為尖端抗暖化措施在進行研究，顯示生物精煉技術朝向非糧食作物、雜草利用等方向發展。

台灣生物精煉技術逐漸成熟，工研院的生質能源研發團隊將常見的農作物殘渣，如稻殼、甘蔗渣、玉米稈，提煉出新燃料「纖維素生質丁醇」，若與汽油混合使用，將可產生具潛力的生質燃料，研發團隊進一步搭配工研院專利的纖維素水解產醣技術，利用環保的化學反應方式，只需五個小時就可將各種農業廢棄物，如稻桿、蔗渣與木屑等，轉化

表二 澳洲昆士蘭州各地區生物精煉計畫經濟評估

單位：澳幣百萬元；%

計畫種類	期間	資本性支出	預期收入	成本	本益比	內部投資報酬率
甘蔗廢棄物生產PE	2018-2019年	663	1,631	1,568	0.73	-
植物廢棄物提煉樹脂	2015-2016年	19	48	11	1.56	16.6
甘蔗渣提煉琥珀酸	2014-2015年	391	2,158	1,217	1.34	19.7
鐮葉相思樹提煉航太燃料	2016-2017年	473	3,883	3,063	1.10	16.6
林木廢棄物提煉乙醯丙酸	2017-2018年	13	77	37	1.57	31.6
甜高粱提煉木糖醇、生質乙醇	2016-2017年	240	1,269	640	1.44	22.7
高粱殘渣提煉生質乙醇	2016-2017年	91	356	177	1.33	17.0

注：-表無相關資訊。

資料來源：Deloitte Access Economics；台經院生物科技產業研究中心整理(2016)。

成可醱酵的醴；從醴中產出的丁醇比率高達 97%，完全超出實驗的理論值，兩項技術的結合讓整體減碳效益比甘蔗酒精或玉米酒精高出二至四倍，反應速率快又大幅降低製造成本，只要進入量產，農林廢棄物轉化為可取代汽油生質燃料的夢想就得以實現。纖維素生質丁醇生產技術在國際生質能源領域引起矚目，得到 2013 年美國百大科技研發獎外，更吸引了全球生質能源投資者的目光，其中不乏 Fortune 500 的大型企業來台灣了解技術。

工研院東港生技中心擁有豐富微藻養殖經驗，並運用基因工程技術改良藻種，將藻類油脂含量從 30% 提升至 70%，未來在規模化量產下，預估每年每公頃可生產 15,000 公升的藻油，吸收 100 噸的二氧化碳。台大研發出「核殼型奈米顆粒」，轉化海藻為生質能源時，可兼顧節能、減少汙染、提升生產效率團隊研發出具有氧化鐵及氧化矽的「核殼型奈米顆粒」，可將奈米顆粒直接貼附於藻體，以往需費時幾天的收集海藻時程減少至幾分鐘，「核殼型奈米顆粒」使用完後，可直接回收再利用，可提升生產效率，對環境亦不會造成汙染。此法經團隊實

驗室測試，轉化率可達到 97%，較現行技術的 60% 高出許多。大榮能源設備公司將廢食用油轉化為生質燃料（非生質柴油）替代桶裝瓦斯，除環保節能外，更幫助解決廢食用油問題。

2015 年聯合國氣候變遷會議 (COP21) 其中一個討論主軸「低碳技術夥伴倡議」(Low-Carbon Technology Partnerships initiative, LCTPi)，將發展再生能源、碳捕捉及封存、建築物的能源效率、水泥、低碳貨運、低碳運輸燃料、氣候智慧型農業、森林、化學等九大領域低碳技術解決方案，而工業生技具有減少廢棄物、減少使用石化資源等特點，未來工業生技在低碳技術中勢必扮演重要的角色。臺灣發展生物精煉具有高端技術，而澳洲昆士蘭耕地面積達 2,000 萬公頃、甘蔗年產量約 3,000 萬噸，對於發展工業生技具有深厚基礎，同時積極吸引外資並引進技術，若臺灣與澳洲合作，可解決臺灣耕地面積不足及資金問題，而澳洲也可藉由合作減少發展所需資金，共創雙贏局面。

AgBIO

陳楷廷 台灣經濟研究院 生物科技產業研究中心 助理研究員

#### 參考文獻

1. Deloitte Access Economics (2015) *Economic impact of a future tropical bio-refinery industry in Queensland* Deloitte.
2. Keisuke Sadamori. (2015) *Bioenergy Perspectives and Policy Action at Global and Local Level*. International Energy Agency.
3. State of Queensland. Department of State Development (2015) *Queensland Biofutures 10-Year Roadmap*.
4. Mackenzie Anderson (2015) *An Introduction to PlantBottle™ Packaging Coca-Cola*.
5. Nicky Smith. (2015) *DuPont Nevada Site Cellulosic Ethanol Facility Feedstock Collection Program*. DuPont.
6. Sustainable Liquid Biofuels from Biomass Biorefining, European Commission website.
7. 呂錫民 (2015) 藻類燃料的發展和前景。科學月刊，401期，科技報導雜誌社。
8. 經濟部投資業務處，澳大利亞投資環境簡介，頁5-6，2015年7月。
9. 經濟部能源局，廢渣變黃金—工研院研發生質燃料再進化。綠色能源產業資訊網，2014年8月。
10. 孫智麗 (2015) 前瞻生物經濟發展之國際趨勢與科技政策。Bioeconomy 2020：因應生物經濟時代之科技前瞻與產業趨勢，台灣經濟研究院，頁1-10。
11. 孫智麗、陳楷廷、李盼等 (2015) 「澳洲出國報告書」，果樹海外營運策略規劃研究報告，行政院農業委員會。
12. 李福忠 (2014) 廢食用油變黃金大榮開發城市油田。經濟日報。
13. 洪欣慈 (2015) 轉化海藻為生質能源台大研究上期刊封面。聯合報。
14. 鄭池南 (2012) 生質燃料研發微藻成明日之星。大紀元。
15. 許嘉伊 (2010) 前瞻工業生技未來發展趨勢。台灣經濟研究月刊，33：53-57。