

從國際循環經濟趨勢論 我國循環農業發展策略

撰文/黃育徵·陳世廷·余祁暉

前言

現行之經濟模式為一種線性的消費模式。從自然環境開採原料，加工製成產品，產品被消費者使用後最終丟棄。在人口成長、高度都市化、供應鏈全球化的同時，維持了數百年的消費模式開始顯現一些一直隱藏的問題，如人口成長所導致之需求增加，生態環境惡化、氣候變遷以及資源耗盡等。對臺灣天然資源相對缺乏的國家來說，若持續依照目前線性經濟的模式，將來勢必面對因原物料供給不足、成本價格持續攀升，進而嚴重削弱我國國際競爭力。

循環經濟跳脫過去以往環保、綠色等概念，具備真正的商業價值，是一個可恢復且可再生的「經濟模式」，目的是「取代」現有的線性經濟模式，相較於線性經濟中產品「壽終正寢」的概念，循環經濟講求的是「再生恢復」、使用可再生能源、拒絕使用妨礙再利用的有毒化學物質，並藉由「重新設計」材料、產品、及商務模式，以消除廢棄物並使得資源能夠更有效率地被利用。主要特色是利用「生物循環」和「工業循環」消除廢棄物的概念；培養消費者以租代買，讓企業可享較低的邊際成本，同時也讓消費者減少無謂的支出；使用再生能源減少石化燃料的依賴，進而減少開採、生產原物料的能源使用。可共創消費者、企業與環境的三贏局面。

國際循環經濟發展現況

自 2000 年以來，新興市場之中產階級需求急速膨脹，進而推升大宗商品 (commodity) 價格飛升，迫使先進國家思考經濟成長與原物料價格脫鉤之道。加上環境保育及永續發展意識抬頭，亦促使全球企業由過去資源單向式消耗的模式，加速邁向循環經濟式創新。而目前國際上已經有許多經濟體 (如歐盟、德國、荷蘭、丹麥、蘇格蘭、日本等) 訂定循環經濟策略，做為國家經濟發展的目標。英國的艾倫麥克阿瑟基金會 (Ellen MacArthur Foundation, EMF) 更是與全球知名管理諮詢公司麥肯錫合作推出「循環經濟報告」，報告指出循環經濟可在五年內創造 5 億美金的淨收益、10 萬個新工作並避免 1 億噸的材料浪費；此外還具有讓全球每年省下 1 兆美元材料成本的潛力、在全球的再製產業 (recycling industry)、歐洲的回收產業超過 100 萬的潛在就業機會。除此之外，EMF 成立 CE100 平台，號召全球政府、企業、學校、研究單位加入以共同推展循環經濟，世界著名企業如 Google、DELL、H&M、飛利浦公司等都是成員之一。

歐盟於 2015 年制定 Circular Economy Strategy (EU Action Plan for the Circular Economy)，分別從產品設計、生產流程、消費、廢棄物管理、廢棄物資源化等，優先推行領域包含生物 (bio-based) 產品、生物質 (biomass)、食品廢棄物 (food waste)、塑膠 (plastics)、關鍵材料 (critical raw materials)，歐盟

依經濟重要程度及供應風險列出 20 種關鍵原料)、及建築 (construction and demolition), 循環經濟計畫預計 2030 年, 在經濟效益上可創造 1 兆 8 千億歐元的整體效益, 可增加 18% 可支配所得、且企業可省下 6 千億歐元的支出, 創造就業機會 58 萬 (European Commission, 2015); 環境層面上可降低歐盟原物料使用 32%, 每年可減少 2% 至 4% 的溫室氣體排放量, 有效減輕歐盟面對全球資源短缺和生態環境等壓力, 降低溫室氣體排放、確保資源、能源與原材料的永續性 (European Commission, 2015)。荷蘭重要智庫 TNO 在 2013 年的報告中預估循環經濟可提升荷蘭 1.4% GDP (約 73 億歐元), 並提供 5 萬 4 千個工作機會, Ellen MacArthur 基金會預估循環經濟在 2035 年可為丹麥帶來 0.8% 至 1.4% GDP 成長率, 增加 7 千到 1 萬 3 千個工作機會 (Ellen MacArthur Foundation, 2015), 同時丹麥循環經濟計畫 (Fund for Green Business Development) 提供低利率貸款支持生物精煉 (biorefinery) 科技商業化。除了各國政府對於循環經濟的支持外, 許多大學也開設循環經濟相關課程, 包含英國頂尖研究型大學克蘭菲爾德大學、布拉福德大學、倫敦大學, 美國羅徹斯特理工學院、亞利桑那州立大學, 而德國 TU Berlin 大學、荷蘭 TU Delft 大學則是在全球課程平台 edX 開設一系列循環經濟的課程, 除了上述大學以外, 其他國家如加拿大、智利、法國、澳洲、印度等亦開設循環經濟大學課程。

企業對於循環經濟發展則是從三個面向進行, 分別包含重新設計產品、重新設計商業模式及資源/能源回收。如英國第二大連鎖超市 Sainsbury 將各分店過剩的食物捐給合作慈善團體, 透過糧食銀行和其他計畫接濟弱勢民眾, 無法捐助的過期食物則經處理做為動物飼料或進行沼氣發電, 讓 Sainsbury 超市得以只靠過期廚餘之沼氣發電做為電力來源, 成為英國第一間電力自給自足的超市。荷蘭手機新創公司 Fairphone 是一個將社會利益擺在第一順位的公司, 在 2013 年 10 月推出全球第一隻將手機零

件加入便於維修之模組化設計, 例如消費者可自由替換手機內建相機鏡頭, 而不需重新購買整之手機, 並且以「公平貿易」為原則的手機, 堅持只採購「非衝突礦石」作為原料, 避免加劇剛果內戰, 而且也可藉此扶持剛果經濟的安定, 增加當地居民的就業率。最後, Fairphone 每賣出一支手機, 便會將 3 塊歐元投入建設手機回收機制, 降低手機廢料對地球的傷害。飛利浦 (Philips) 公司重新設計商業模式, 將原先「販賣燈泡」改變成「販賣照明服務」, 以照明時數進行收費, 同時在燈泡設計上進行改變, 損壞的燈泡不在需要更換整顆燈泡只需替換燈絲。

農業在循環經濟的定位

在循環經濟體系中, 分為生物循環及工業循環兩大區塊, 由於產品本身可能包含生物可分解與不可分解的材質, 需要同時考量不同材料的循環再利用, 可經過生物和工業循環共生配合, 借此達到資源的最佳利用。「循環農業」為生物循環及工業循環的重要核心, 適合做為各產業生物廢棄物的「資源化平台」。以造紙業為例, 造紙為標準工業產業, 農業可生產造紙所需原物料, 廢棄的纖維可再分解成為有機質資源供農業使用。而以農業本身來說農業可自成生物循環體系, 像荷蘭將農食鏈進行分析, 可分為生產、加工、消費者等三個階段 (表一), 生產過程所產生的廢棄物包含植物修剪產生的枝條葉片, 稻米採收後殘留的稻桿稻草等, 加工過程產生

表一 荷蘭農食生產鏈廢棄物來源分析

廢棄物產生層級	來源
初級廢棄物 (primary waste streams)	廢棄物來自於採收、儲藏、運輸與初級加工等過程, 例如: 甘蔗渣、馬鈴薯殘體、動物糞便
二級廢棄物 (secondary waste streams)	廢棄物來自食品工業生產過程, 例如: 果渣、馬鈴薯泥、豆渣
三級廢棄物 (tertiary waste streams)	廢棄物來自消費者與使用者, 例如: 家庭廚餘、餐廳廚餘

說明: TNO (2013); 台灣經濟研究院生物科技產業中心整理。

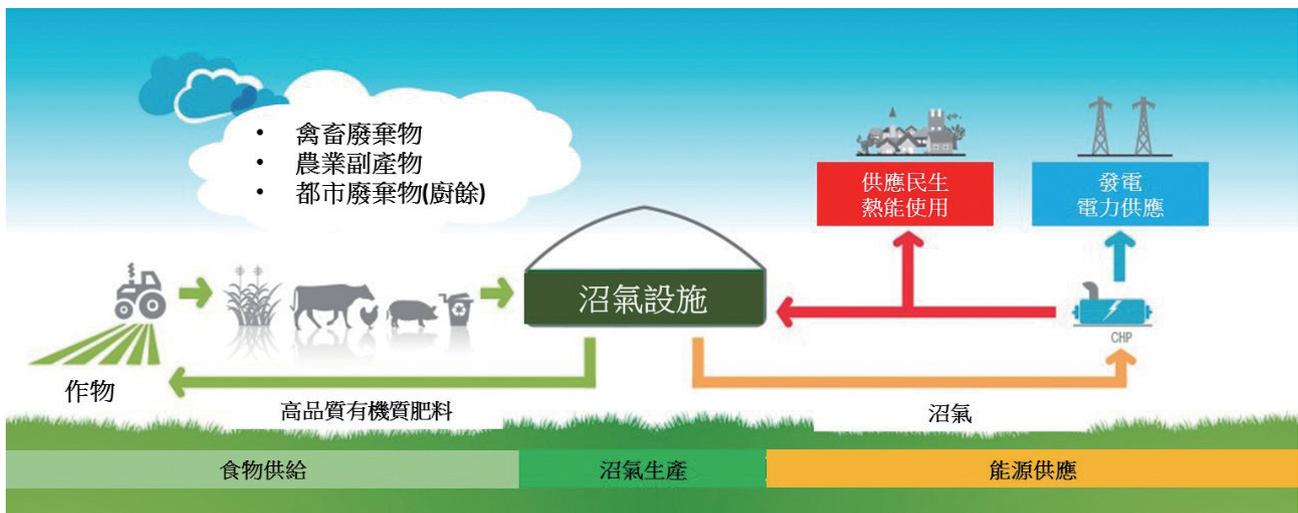
的廢棄物可能包含果皮、果渣，人類及動物使用後產生之廢棄物等，上述廢棄物可藉由堆肥重新轉變成有機物資源，再次做為農業生產的資源，除了製成堆肥以外，尚可藉由科技進行加值，例如蚵殼可經由生物科技轉化為鈣片的良好材料來源，豬血經過提煉製成血清、畜產廢棄物與工業整合進行沼氣發電提供民生及其他產業用電、甘蔗渣提煉成生質乙醇等。

農業循環經濟重要科技

根據 EMF 在 2015 年的報告指出，在生物循環體系重要科技分別包含仿生科技 (biomimicry)、堆肥技術 (composting)、藻類及微生物廢棄物處理場 (biofactories)、生物精煉 (biorefinery，可將生物廢棄物進行精煉增加其價值)、厭氧消化 (anaerobic digestion)、以及生物可分解食物包裝材料 (biodegradable food packaging)。世界經濟論壇 (WEF) 2014 年的報告則是將目前的科技進行盤點，分為經典 (Golden Oldie)、高潛力 (High Potential)、原鑽 (Rough Diamonds)，經典科技包含 PET、造紙、金屬、玻璃等循環純化技術，高潛力科技則是其他聚合物的循環回收技術，原鑽科技涵蓋食品廢

棄物、水泥、二氧化碳等相關科技，最後將 3D 列印技術及生物材料列為循環經濟的未來明星科技。除了上述科技以外，發展共生農業 (多樣性種植)、智慧農業 (利用資訊科技及物聯網 (IoT) 將能源及資源使用最佳化)、能源中和 (使用再生、在地能源，例如以農工結合進行沼氣 (biogas) 發電)，發展在地能源產業，優點包含減少汙染、同時生產能源及有機質肥料做為在地化創新產業、無毒耕作環境 (減少化學肥料及化學農藥的使用)、研發創新農食品包裝延長食物壽命、智慧探測食品使用期限等都是未來科技發展的重要方向。

其中，沼氣發電是藉由厭氧生物分解有機物 (動植物或動物排泄物，大多被利用的都是林漁農牧及民生廢棄物) 成為沼氣 (biogas)，其步驟包含水解、酸化及甲烷化，沼氣可做為發電機的燃料以產生電力 (圖一)。此技術已在國外積極發展，例如德國、法國、丹麥、日本、韓國、美國及加拿大等國皆在進行有機廢棄物的沼氣發電。德國由於國家能源政策目標明確，加上裝置標準化、模組化設計等發展，使得生物廢棄物進行沼氣發電技術廣泛地被推廣，並將電能應用於民生及工業，2015 年德國境內已有超過 10,020 座沼氣場，共發電超過 40TWh



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

圖一 沼氣發電模式

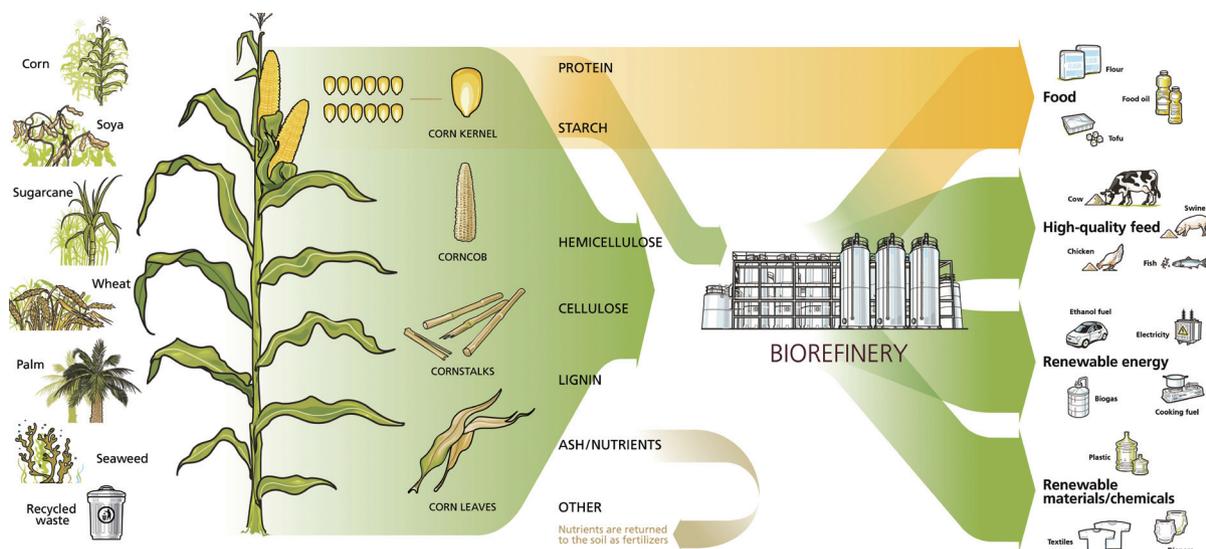
(Leibniz-Institute for Agricultural Engineering Potsdam-Bornim, 2015)。法國則預計在 2020 年將有 1300 個沼氣設施，將可提供 800 萬戶家庭用電(Ellen MacArthur Foundation, 2015)。丹麥之生質能源政策為大規模及區域性之沼氣工場，利用沼氣發電供應廠區使用並將多餘電力回饋至市電系統。中國、尼泊爾及泰國等開發中國家，則正推動農畜牧業廢棄物發電。

而生物質 (biomass) 可經由生物精煉 (biorefinery) 技術加以應用，生物精煉的概念類似於石油精煉，目的是將生物質全數轉化為化學品或能源，根據產物主要可分為二大部分，第一部分為生物材料，其為以生物為原料所製造之材料，例如用生物聚合物製成生物塑膠，或者是自甘蔗渣、林木廢棄物提煉重要化學品；第二部份為生質能源，透過生物精煉將生物質轉成可供使用的能源，第二代生質能源的製造，乃使用木質纖維素 (lignocellulose) 為原料製作生質燃料，與醃類、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。最標準的例子為丹麥知名酵素公司 Novozymes 以玉米各部位及其廢棄物作為原料，以生物精煉製造食品、高品質飼料、生質能源、再生材料 (圖二)。

目前已有許多國家將生物精煉作為重要的政策項目，例如歐盟推動的 MultiHemp 計畫 (2012-2017 年)，目的是將麻類作物以生物精煉的模式進行全物利用 (total utilization) 開發 (圖三)，分別從麻類作物的花、種子、葉片等部位，以生物精煉技術生產藥物、食品、布料等。

丹麥則是利用生物精煉技術將農業廢棄物進行加值再利用，產品從附加價值較低的有機質肥料到高附加價值的醫藥化學品 (圖四)，預計 2035 年時可創造每年 3-5 億歐元的淨利，而搭配減少 50% 食品廢棄物更可再另外減少 1.5-2.5 億歐元的支出 (Ellen MacArthur Foundation, 2015)。荷蘭則是從農業及食品產業生產價值鏈中依照不同加工層級進行分析，分成生產、加工、消費者等三大層面，總共列出 34 種不同的生物廢棄物，分別針對不同種類的廢棄物計算每年產生量、目前利用模式、以及處理所



資料來源：Novozymes (2012)。

圖二 丹麥知名酵素公司Novozymes推行的玉米生物精煉計畫

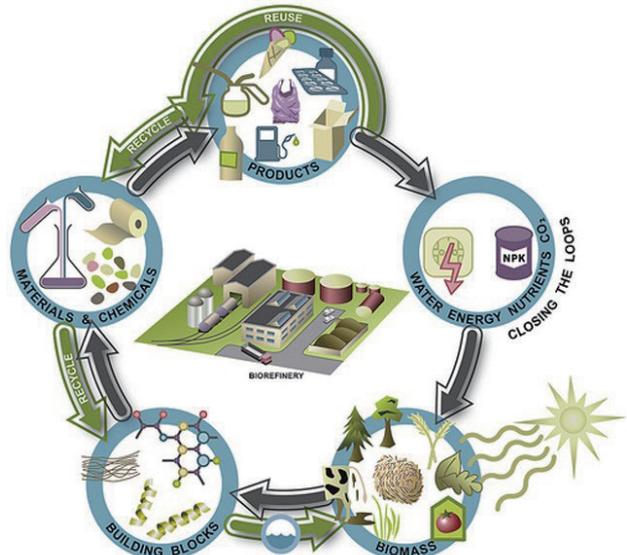
經濟更容易進行小區塊整合、發展在地化新創事業，並創造該地區就業機會。

4. 臺灣農業生技研究能力具有一定基礎，對於農業廢棄物再利用已有許多研究計畫。
5. 臺灣為亞洲國家中少數已開發國家，適合做為亞洲在循環經濟上的模範指標，發展循環農業同時也是擺脫與日本、韓國出口競爭的良好機會。
6. 循環經濟需要新商業模式，臺灣創業精神亞洲第一¹，臺灣將有機會重新開啟新的產業典範。

循環經濟的概念早在 20 世紀 60 年代美國經濟學家波爾丁提出生態經濟時就已談到，但是直到近五年循環經濟才真正開始起步，而世界各國發展循環經濟至今不過三年，許多國家仍在規劃階段，2015 年歐盟 Bio-based Industries Consortium 常務董事 Dirk Carrez 提出發展生物經濟等於發展可再生循環經濟的觀念，生物經濟已為臺灣當前重點發展政策，若以生物經濟做為發展循環經濟的基礎（圖五），仍有很大的機會可以走在世界的發展先端。

臺灣農業循環經濟發展可能模式

環保概念之所以無法獲得企業界及政府的積極響應，主要原因是缺乏「商機」，對於政府與企業推行環保概念就變相等於增加支出。然而，循環經濟以取代線性經濟為目標，同時創造了新的獲利模式及就業機會，對整體經濟可產生顯著的效益，而台灣未來發展勢必朝向零排放、零廢棄物、零污染，循環經濟可作為台灣成為亞洲典範的機會。台灣發展農業循環經濟可能模式包含先期規劃、短中長期計畫，短期計畫為盡快發展沼氣發電，沼氣發電在過去以有許多研究，而國外沼氣發電已模組化、規格化，相較其他技術簡單，並且可幫助台灣減少能源進口依賴，發展在地化能源；中程計畫則是針對現有廢棄物進行資源化，復原天然資源為主；最後進行結構上的改變，例如針對畜牧產業施用抗生素，造成畜牧廢棄物產生之有機質肥料，具農用化學品殘留問題而無法使用。在進行上述發展之前，首要目標是針對目前農業上的生產鏈進行廢棄物盤



資料來源：Bio-based Industries Consortium (2015)。

圖五 歐盟生物循環經濟模式圖

點，針對不同階段廢棄物設計不同的處理方式，經過循環經濟轉型後的效益評估，並針對區域性（主要農業生產區，如雲林）的循環經濟診斷，將「補助」發展循環經濟的「支出」概念，轉為「投資」循環經濟的「收益」（表二）。

循環台灣基金會介紹

循環台灣基金會 Taiwan Circular Economy Network 目前為英國艾倫·麥克阿瑟基金會 Ellen MacArthur Foundation (EMF) CE100 計畫之成員，與思科 Cisco、飛利浦 Philips、雷諾 Renault 和聯合利華 Unilever 等為首的國際領導企業、歐美高等教育界知名院校和蘇格蘭、丹麥等各國政府組織合作，一齊探討循環經濟的潛力、並共同面對挑戰。基金會發起人黃育徵先生為企業家出身，黃育徵先生為企業家出身，同時為現任台灣廚餘資源化發展協會理事、浩然基金會董事、新境界智庫董事，基金會宗旨為透過推廣循環經濟的概念，協助、促成台灣經濟維新的新模式，成為台灣青年、企業和政府尋找產業發展政策和落實商業模式的重要平臺，推動項目包含：和世界的發展趨勢接軌，同步推廣循

¹美國華府研究機構 Global Entrepreneurship and Development Institute 的 2016 年「全球創業精神暨發展指數」（2016 Global Entrepreneurship Index）中，臺灣在 130 多個評比國家中排名第六，在亞洲居首，較 2015 年進步兩名。

表二 農業循環經濟展望2035年

VISION 2035農業循環經濟				
面向	先期規劃	短程	中程	長程
總體面	<ul style="list-style-type: none"> 社經效益分析 減少成本 增加獲益 增加工作機會 	<ul style="list-style-type: none"> 農業區域效益評估 設立循環經濟示範專區 零廢棄農場 	<ul style="list-style-type: none"> 天然資源復育 水(截水、節水) 空氣(降低二氧化碳) 土壤(減少化學肥料) 	<ul style="list-style-type: none"> 經濟結構轉型 法規調整 農工業共生(重新規劃公共建設) 生產運銷出口模式改變
推動面	<ul style="list-style-type: none"> 廢棄物盤點 現有產品生產各階段廢棄物盤點及診斷 	<ul style="list-style-type: none"> 沼氣發電 禽畜廢棄物及農業廢棄物共消化 	<ul style="list-style-type: none"> 廢棄物資源化利用 農食品廢棄物 	<ul style="list-style-type: none"> 生物精煉整合 作物全利用 取代石化材料

說明：財團法人資源循環台灣基金會(2016)；台灣經濟研究院生物科技產業中心整理(2016)。

環經濟的新思維、分享世界各地成功的循環經濟發展案例、提昇原物料和產品的使用效能和循環特質、促進「產·官·學·研·社」資源和能量的整合、推動產業轉型，創造就業機會。

AgBIO

黃育徵 資源循環台灣基金會 董事長兼創辦人
 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
 余祁暉 台灣經濟研究院 生物科技產業研究中心 總監

參考文獻

- 于立平、陳慶鍾 (2013) 【我們的島】能源時代-德國再生的希望。財團法人文化公共事業基金會
- 黃育徵 (2016) 你的手機「公平」嗎?。循環經濟，天下雜誌2016年3月
- 黃育徵 (2016) 如何又環保又成長 歐洲的解答是?。循環經濟，天下雜誌2016年3月
- 黃育徵 (2015) 飛利浦轉型「賣照明服務」，取代「賣燈泡」。循環經濟，天下雜誌2015年11月
- 黃柄樞 (2015) 台灣生質沼氣發電現況。能源專欄，教育部能源科技人才培訓網
- 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
- 陳楷廷 (2016) 從澳洲生物經濟政策論生物精煉發展趨勢及策略。台灣經濟研究月刊，第39卷第3期：80-83。
- 財團法人資源循環台灣基金會，From <http://www.circular-taiwan.org/>
- Bas Eickhout. (2012) *A strategy for a bio-based economy*. Green New Deal Series volume 9. The Green European Foundation. Belgium.
- Dirk Carrez, Patrick van Leeuwen. (2015) *Bioeconomy: circular by nature*. Bio-based Industries Consortium.
- Ellen MacArthur Foundation. (2015) *Potentail for Denmark as a circular economy. A case sudy from: delivering the circular economy-A toolkit for policy makers*. Ellen MacArthur Foundation. United Kingdom
- Ellen MacArthur Foundation. (2015) *Anaerobic Digestion: the potential of organic waste*. Ellen MacArthur Foundation. United Kingdom.
- European Commission. (2015) *Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy*. The European Economic and Social Committee and The Committee Of The Regions.
- Leibniz-Institute for Agricultural Engineering Potsdam-Bornim. (2015) *IEA Bioenergy Task 37 Country Report, Germany*. IEA Bioenergy Task 37, Berlin, Germany.
- State of Queensland, Department of State Development (2015) *Queensland Biofutures 10-Year Roadmap*. State of Queensland, Department of State Development.
- TNO Strategy & Policy. (2013) *Opportunities for a circular economy in the Netherlands*. TNO

參考文獻

17. World Economic Forum, Ellen MacArthur Foundation. (2014) *Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains*. World Economic Forum.
18. Bio-based Industries Consortium, From <http://biconsortium.eu/news/bioeconomy-circular-nature>
19. Ellen MacArthur Foundation, From <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/>
20. The Netherlands Circular Hotspot Program, From <http://www.netherlandscircularhotspot.nl/circularhotspot.html>
21. MultiHemp, From <http://multihemp.eu/>
22. Novozymes, From <http://www.novozymes.com/>