

全球生質能源產業與技術發展動態與趨勢分析

台灣能資源永續與低碳經濟學會 蘇美惠秘書長

國際能源總署 (International Energy Agency; IEA) 對生質能 (Bioenergy) 定義為直接利用生質物 (Biomass) 當作燃料，或經處理轉換產生液態或氣態之能源。至於生質物則泛指所有從植物或動物而來的有機物，具備可再生性資源；其來源包含林木、農業作物、草本與木本能源作物、城市有機廢棄物及糞肥 (IEA, 2012)。我國「再生能源發展條例」則將生質能定義為「指農林植物、沼氣及國內有機廢棄物直接利用或經處理所產生之能源」。

生質物之所以會為二十一世紀全球能源主要供應來源之一，即為著眼於植物固碳效果。植物利用太陽能與二氧化碳進行光合作用促進植物生長，植物收穫後作為燃料，其燃燒後所排放的二氧化碳將再回到大氣中，並不會增加二氧化碳之淨排放；生質燃料因具備此種「碳中和 (Carbon Neutral)」效益，而被視為兼顧環保並可永續經營的能量來源。

生質能為各項再生能源中全球應用歷史最為悠久，且對全球能源供應的貢獻最大之能源，2015 年約佔全球初級能源消費的 14.1% (REN21, 2017)。生質能依所使用的料源、轉換技術與應用方式不同，可應用於熱能、電能與運輸能源。其中以熱能應用最為廣泛 (尤其是家庭供暖最大宗)，占整體生質能應用 91.4%；交通運輸燃料應用約占 5.7%，至於電能應用則約占 2.9% (REN21, 2017)。

應用於交通運輸的液態生質燃料，包含生質酒精與生質柴油；固態生質燃料則用於家庭或區域提供熱、工業鍋爐或電廠作為燃料；畜禽等廢棄物生產的生質沼氣 (Biogas)，則可提供熱源和發電使用。產業面部分，目前全球生質能產業仍以生質酒精與生質柴油較具規模，尤其是生質酒精部分；其餘液態生質燃料、固態生質燃料與生質沼氣占整體生質能產業規模不到 1%¹。

為提供生質能源發展最新進程之樣貌，本文將先進行生質能技術發展概況介紹，再分別針對重要國家在液態生質燃料及生質熱電的應用概況與發展趨勢，進行說明，以掌握全球在重要生質能源項目之發展與應用概況，做為我國生質能源發展之參考。

¹ 經濟部能源局綠色能源產業資訊網，<http://www.taiwangreenenergy.org.tw/Domain/domain-4.aspx>(最後瀏覽日期 2017.03.26)。

一、生質能技術發展概況

液態生質燃料已被廣泛使用作為車用替代燃料，依其使用原料及生產程序可分成第一代及第二代生質燃料，其中第一代生質燃料係指利用植物的油脂、糖分或澱粉，透過化學或生物化學路徑，將植物油脂轉化為生質柴油，或利用糖分、澱粉生產生質酒精，目前該技術在全球已達成成熟運用階段；第二代生質燃料則利用農、林剩餘物等含纖維素、半纖維素組成的生質物，以生物化學或熱化學路徑生產纖維酒精，或利用熱化學路徑生產生質轉化液體（Biomass To Liquid, 簡稱BTL）燃料，其中BTL燃料類似目前化石燃料衍生的汽油或柴油組成之合成燃料，因而可使用既有的油品配銷系統與車輛標準引擎。

第三代生質燃料是利用非耕地養殖藻類作為料源，更前瞻的研究已進入第四代，則是指透過基因工程，使用微生物本身作為生物反應器直接產製生質燃料(表1)。目前第一代生質燃料已進入大規模商業化應用，但有與人爭糧的疑慮；第二、三、四代生質燃料雖然不受料源限制，但卻都還處於技術發展階段，成本仍然偏高，屬先進生質燃料技術。

表 1、不同世代液態生質燃料技術劃分

世代	料源	製程	產品
第一代 (耕地生產能源作物)	糖/澱粉作物：甘蔗、甜菜、玉米、甜高粱、木薯等	酵素發酵	生質酒精
	廢食用油 油質作物：棕櫚油、大豆、向日葵、油菜等	轉脂化	生質柴油
第二代 (使用非糧食料源)	農林廢棄物：稻稈、玉米桿、廢木材等	酵素水解、發酵	纖維酒精
	非糧能源作物：芒草、狼尾草、短期輪伐林等	轉脂化	生質柴油
	非糧能源作物：麻瘋樹、蓖麻等		
木材、能源作物、生質廢棄物	氣化、Fischer-Tropsch 合成、產物純化	BTL	
第三代 (非耕地生產料源)	大型藻類	前處理與熱水解、發酵	生質酒精
	微藻、大型藻類	萃取與純化、水熱處理	生質柴油
第四代 (微生物應用)	農林廢棄物、非糧料源	使用微生物本身作為生物反應器	生質酒精 生質柴油

資料來源：蘇美惠(2009)；IRENA(2016)；本研究整理。

纖維酒精技術的研發進程已進入商轉前的驗證階段，目前國際上有六座纖維酒精商轉廠完成建置(圖 1)，產製程序以生化製程為主，進料處理量規模每日約 900~1,400 噸，每座酒精年產能約 7.5~11 萬公秉，陸續在 2014 年進入量產的驗證導入階段；但受制於油價低迷的衝擊，及纖維原料集運方法仍有待精進，預

期達到實質商轉的期程將會有所順延。由加拿大 Iogen 與巴西 Raizen 合資成立 Iogen Energy，於巴西聖保羅 Raizen 糖廠內設置一座年產 4 萬公秉的纖維酒精廠，因料源成本低廉每公噸約 38 美元，該公司宣稱生產成本達每加侖 2.17 美元(每公升約新台幣 17.8 元)。其餘纖維酒精廠料元成本每公噸約 90 美元，生產成本推估每加侖約 3.45~4.55 美元(每公升約新台幣 28.3~37.3 元)；杜邦公司則評估纖維酒精須待油價至每桶 70 美元以上時，方有獲利空間。

	Beta-Renewables	GranBio	Abengoa	POET-DSM	Iogen Energy (JV of Iogen/Raizen)	DuPont
						
廠址	義大利 Crescenetino	Alagoas, 巴西	美國堪薩斯州	美國愛荷華州	巴西聖保羅地區	美國愛荷華州
運轉	2013/10	2014/9	2014/10	2014/9	2014/12	2015/10
投資額	2 億美元	2.65 億美元	5 億美元	2.5 億美元	超過 1.5 億美元	2.25 億美元
料源	稻稈、麥稈、蘆竹 (~930 噸/日)	蔗渣、稈、草等 (~1000 噸/日)	玉米稈、麥稈、牧草等 (~907 噸/日)	玉米芯、稈、葉等 (~1100 噸/日)	蔗渣、稈、草等	玉米稈 (~1400 噸/日)
規模 (年產量)	• 7.6 萬公秉	• 8.3 萬公秉 • 木質素供發電	• 9.5 萬公秉 • 21MW 電力	• 9.5 萬公秉	• 4 萬公秉 • 木質素供電	• 11.4 萬公秉
製程技術	<ul style="list-style-type: none"> • Proesa™ 技術前處理 • Hybrid-SSCF 程序 • Novozymes 酵素 	<ul style="list-style-type: none"> • Proesa™ 製程 (BetaRe. 授權) • Novozymes 酵素 • DSM's 之 C5/C6 共發酵菌株 	<ul style="list-style-type: none"> • 酸催化/蒸汽爆裂前處理 • 2G enzymes • C5/C6 共發酵 	<ul style="list-style-type: none"> • 酸催化/蒸汽爆裂前處理 • SHCF 程序 • 自產水解酵素 • 一代廠共構 	<ul style="list-style-type: none"> • 酸催化/蒸汽爆裂前處理 • SHCF 程序 • 與甘蔗酒精廠共構 	<ul style="list-style-type: none"> • 弱鹼前處理 • SHCF 程序 • 與一代酒精廠共構

資料來源：核能研究所。

圖 1、國際已進入試量產纖維酒精商轉廠概況

藻類生質燃料部分，美國包括 Cellana、Saphire Energy、Algae Tech、Solazyme 及 Solix 等公司，已投入於藻種篩選、反應器開發、養殖系統、採收/萃油製程等量產化開發，美國能源部也提供產業研發聯盟對於商業化技術發展的補助²。

二、重要國家液態生質燃料的應用概況與發展趨勢

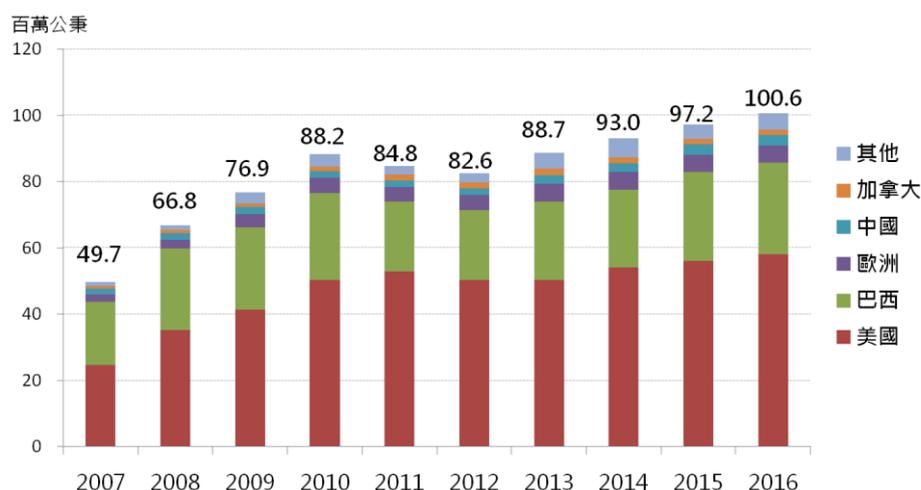
2016 年已有 36 個國家採行運輸用生質燃料混摻政策(REN21, 2017)，馬來西亞、墨西哥與越南也開始推動混摻政策，部分國家更是大幅提高生質燃料混摻比例，例如生質酒精在印度(E10 增加至 E22.5)、辛巴威(E5 增加至 E15)、阿根廷(E5 增加至 E10)與巴拿馬(E7 增加至 E10)，以及生質柴油在印尼由 B5 增加至 B20、

² 經濟部能源局(2016)，2016 年能源產業技術白皮書，2016 年 9 月。

巴西逐年提高添加比例至 2019 年將提高至 B10。

2016 年生質燃料佔全球車用燃料比重已達 4% (REN21, 2017)。IEA(2016)評估在強制化石燃料添加生質燃料的政策下，減緩了低油價環境對生質燃料的衝擊，預估中期市場在這些主要國家的成長率仍高達 19%；至 2021 年美國與巴西仍將是全球最大的生質燃料生產國，但亞洲將主導生質燃料市場的成長。2015~2021 年全球生質燃料產量的增幅，至少 1/3 將由亞洲所貢獻；其中印度和泰國在政府強化能源安全、提高自給率下，將促使生質酒精產量持續成長；而生質柴油產量則仍集中於印尼與馬來西亞。

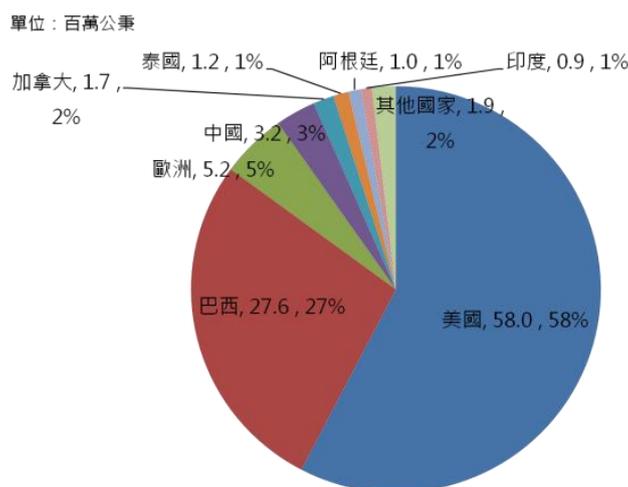
2016 年全球生質燃料產量達 1.34 億公秉，其中生質酒精占整體生質燃料市場 75%，生質柴油約 25%。2016 年全球生質酒精產量超過 1 億公秉，較 2015 年增加 341 萬公秉，年成長率約 4%(圖 2)。美國為全球最大生產國同時也是最大出口國，美國玉米酒精 2016 年產量約 5,800 萬公秉，其次為巴西甘蔗酒精年產量約 2,760 萬公秉，兩者產量佔全球生質酒精產量 85%(圖 3)；歐洲以甜菜及小麥為料源，年產量約 520 萬公秉佔全球 5%。亞洲以中國、泰國及印度為主要生產國，中國以玉米酒精為主年產量約 320 萬公秉佔全球 3%；泰國料源包含甘蔗、糖蜜及木薯，年產量約 120 萬公秉佔全球 1%；印度甘蔗酒精年產量約 90 萬公秉。OECD/FAO(2016)預測至 2020 年全球生質酒精產量將達 1.25 億公秉，成長動能一半以上將來自巴西與泰國甘蔗酒精供應³。



資料來源：Renewable Fuels Association；本研究整理。

圖 2、全球生質酒精產量

³ <http://www.platts.com/latest-news/agriculture/london/world-biodiesel-productionconsumption-to-rise-26485632>。



資料來源：Renewable Fuels Association；本研究整理。

圖 3、2016 年全球生質酒精主要國家生產國

至於生質柴油部分，2016 年全球生質柴油產量約 3,320 萬公秉，較 2015 年 3,000 萬公秉成長 10.3%；全球主要生產國為美國、南美洲(巴西、阿根廷)、歐盟(德國、法國、荷蘭)及東南亞(印尼、馬來西亞、泰國)等地區；2016 年產量成長動能主要來自印尼、荷蘭、阿根廷、美國與德國，FAO(2016)估計這些國家 2017 年的產量仍將小幅成長(表 2)。美洲地區生質柴油主要料源為大豆，歐盟地區則為油菜籽油及向日葵，東南亞料源則以棕櫚油為主。受美國、阿根廷、巴西、印尼及歐盟等國政策支持，OECD/FAO(2016)⁴預測 2016~2020 年間全球生質柴油產量將增加 14%，至 2020 年產量將達 3,790 萬公秉。

美國生質燃料發展主要受到再生能源燃料標準計畫(Renewable Fuel Standard program; RFS)支持，目標為 2022 年生質燃料使用量須達 360 億加侖，且玉米酒精於 2015 年起維持 150 億加侖使用量，因此，至 2022 年纖維酒精角色日益重要。依據美國環保署對於 RFS 規劃，2017 年玉米酒精使用量將首次達到 150 億加侖，至於纖維酒精使用量目標為 311 萬加侖、生質柴油為 20 億加侖，前瞻生質燃料使用量則為 42.8 億加侖(USEPA, 2016)。美國目前汽油中至少都已添加 10% 生質酒精，已有 394 個加油站販售添加 15% 生質酒精的汽油(簡稱 E15)，與 2016 年相較成長 54%，且 2017 年起將有超過 80% 新款車適用 E15，預期 2017 年起 E15 消費量將快速成長。此外，美國販售 E85 的加油站已達 3,610 座，提供彈性燃料車(Flex Fuel Vehicles; FFVs)使用，部分加油站更販售 E20、E30 及 E40 酒精汽油(RFA, 2017)。

⁴ 同註 3。

表 2、全球 2016 年生質柴油前十大生產國

單位：百萬公秉

國家	2017 ^a	2016 ^a	2015 ^b	2014 ^c	2016 年成長率
美國	6.1 ^d	5.9 ^e	4.8	4.7	22.9%
巴西	4.4	3.9	4.1	3.4	-4.9%
德國	3.4	3.4	2.8	3.4	21.4%
法國	2.4	2.2	2.4	2.1	-8.3%
阿根廷	3.1	2.7	2.1	2.9	28.6%
印尼	2.6	2.5	1.7	3.1	47.1%
荷蘭	2.0	2.0	1.5	0.7	33.3%
泰國	1.4	1.3	1.2	1.2	8.3%
新加坡	-	-	1	0	-
馬來西亞	1.0	0.8	0.7	0.5	14.3%
其他國家	-	8.5	7.8	8.2	9.0%
全球	-	33.2^f	30.1	29.7	10.3%

資料來源：a:USDA country report 2016; b:REN21(2016), Renewables 2016 Global Status Report, 2016.06.；c:REN21(2015), Renewables 2015 Global Status Report, 2015.06.；d:biodiesel magazine 網頁(<http://www.biodieselmagazine.com/articles/1945019/>)；e:USEIA 網站(<https://www.eia.gov/biofuels/biodiesel/production/>)；f:S&P Global 網頁(<http://www.platts.com/latest-news/agriculture/london/world-biodiesel-productionconsumption-to-rise-26485632>)；本研究整理。

巴西為全球生質酒精推行歷史最悠久國家，也是全球強制添加比例最高國家，目前全國強制添加比例為 E27；為推動生質燃料使用，除了強制添加政策外，巴西政府更透過提供稅賦優惠鼓勵生產與使用生質燃料。在巴西加油站除了販售 E27 酒精汽油外，也有販售 E100 含水生質酒精，供 FFV 車輛使用；至於生質柴油強制添加政策則將從 2016 年 B7 逐年提高至 2019 年 B10 (USDA, 2016)。

歐盟 2009 年通過能源與氣候變遷套案 (EU Energy and Climate Change Package; CCP)，提出 2020 年溫室氣體減量目標，及 2020 年再生能源佔歐盟最終能源消費組合 20% 配比目標，其中再生能源指令 (Renewable Energy Directive; RED) 訂定歐盟會員國未來的生質燃料政策，除了要求 2020 年生質燃料佔車用燃料比例須達 10% 外，亦提出使用非糧食料源之目標，例如 2015 年生質燃料使用量至少 20% 需使用非糧化生質燃料，至 2020 年則需達到 40%。另一項支持歐盟地區生質燃料發展的為 CCP 中的燃料品質指令 (Fuel Quality Directive; FQD)，

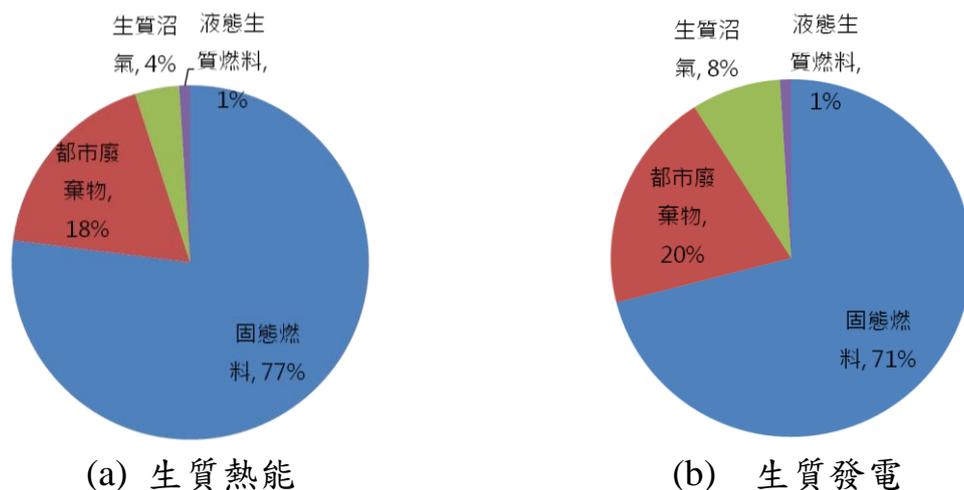
要求供應商以生命週期法計算需降低市售燃料溫室氣體排放量，2014 年強制降低 2%、2017 與 2020 年強制減量 4%與 6%(蘇美惠, 2009)。目前德國、芬蘭、波蘭等為歐盟中最為積極國家，目標為 2020 年生質燃料佔車用燃料比例須達 20% (REN21, 2016)。

然而，2015 年歐盟通過間接土地利用改變指令(Indirect Land Use Change; ILUC)，限制 2020 年使用糧食作物產製生質燃料佔車用燃料比例以 7%為限，此法令嚴重影響 RED 及 FQD 指令的推行，因為非糧化生質燃料目前生產成本仍然偏高，無法大量商業化運用。因此，歐盟正在研議 RED 指令修訂，規劃自 2022 年起逐年調降糧化生質燃料佔車用燃料比例，至 2025 年下修至以 5.8%為限，至 2030 年以 3.8%為限(Biodiesel Magazine, 2016)。

2015 年中國再生能源消費比重達 11.64%，但生質能僅占全部再生能源的 8%。中國 2016 年 12 公佈《生物質能發展“十三五”規劃》，提出 2020 年生質能年利用量要達約 5,800 萬公噸標準煤；其中，液體生質燃料年使用量要達 600 萬公噸(中國國家能源局, 2016)。2016 年 3 月中國海南航空波音客機使用中國石化 1 號生質航空燃油，成功從上海飛往北京，宣示中國在航空應用的生質燃料已進入商業化階段。在十三五期間，中國將積極推廣燃料酒精應用，大力發展纖維酒精，並加速推動生質柴油在交通領域應用。

三、重要國家生質熱能與電能的應用概況與發展趨勢

目前在生質熱能與電能應用，仍以固態燃料為主(圖 4)；2015 年在全球熱能應用中固態生質燃料佔 77%，都市廢棄物廢棄物次之，生質沼氣約佔 4%；在發電應用固態生質燃料則佔 71%，生質沼氣次之約佔 20% (REN21, 2016)。2016 年生質發電全球累計裝置量達 112GW，新增裝置量約 6GW，生質電力占全球總發電量達 2% (REN21, 2017)。IEA(2015)估計至 2020 年生質發電累計裝置量將成長至 125GW，生質發電量在 2014~2020 年平均複合成長率約 5.5%。



資料來源：REN21(2016), Renewables 2016 Global Status Report, 2016.06.；本研究整理繪製。

圖 4、2015 年全球生質熱能與發電應用概況

全球生質發電以美國發電量年供應 680 億度電最高(表 3)，但美國目前生質電力發電成本仍無法與燃氣發電或其他再生能源發電成本相競爭，因此生質電力市場成長緩慢。歐美積極發展木質顆粒燃燒應用，目前已進入商業化量產，美國 2015 年出口超過 4,500 萬公噸木質顆粒，其中 84% 出口至英國，供應英國燃煤混燒電廠使用。

中國生質電力年產量 2016 年居全球第二位(表 3)，在十二五期間原訂生質電力裝置量至 2015 年要達到 13GW，但受到料源成本仍然偏高，實際裝置量僅達 10.3GW。但 2016 年 12 月公布之《生物質能發展“十三五”規劃》，仍提出積極性發展目標，鎖定 2020 年生質沼氣年使用量達 80 億立方公尺，並建設 160 個生質沼氣和循環農業示範縣；至於固態生物燃料 2020 年的年使用量目標則為 3,000 萬公噸；因此，REN21(2017)預估中國 2016 年生質電力年發電量將達 540 億度電。

德國生質電力 2016 年年發電量 540 億度電居全球第三大，裝置量有 67.6% 來自能源作物的沼氣發電，德國同時也建置了歐洲最大的沼氣發電廠。巴西生質電力主要來自甘蔗糖廠的蔗渣發電，產量 510 億度居全球第四大。至於日本生質電力產量則位居全球第五大，年產 380 億度電(表 3)，料源主要為進口木質顆粒、木片及廢棄棕櫚殼；目標為 2030 年裝置量達 6GW。日本現行對於生質電力的收購電價制度，同時也適用於現有燃煤電廠混燒生質物者；因此，將有機會促使日本生質發電應用快速成長。

表 3、2016 年全球前五大生質電力生產國

國家	美國	中國	德國	巴西	日本
累計裝置量 (GW)	16.8	12.0	7.6	13.9	4.0
年發電量 (億度電)	680	540	520	510	380

資料來源：REN21(2017), Renewables 2017 Global Status Report, 2017.06.；本研究整理編製。

四、結論

儘管受到低油價及部分國家政策不確定性影響，全球生質能源產量在 2016 年仍持續成長。其中生質熱能應用由於技術應用已相當成熟，市場已趨於穩定；在生質電力應用方面，受到歐洲及亞洲市場(尤其是韓國)快速成長，2016 年生質電力產量年成長率約 6%。

車用生質燃料雖占整體生質能應用比重不高，但卻供應全球約 4% 陸上運輸燃料，為目前替代液態化石燃料重要選項，歐美國家仍持續投入相關前瞻技術之研發；且無論已開發國家或開發中國家，皆已將車用生質燃料列入再生能源發展施政重點之一。2016 年全球生質酒精產量穩定，其中中國及印度產量大幅成長；至於全球生質柴油的產量則明顯成長，其中以印尼和阿根廷的增長最為顯著。此外，值得注意的是 2016 年氫化植物油 (Hydrotreated Vegetable Oil, HVO) 的產量大幅成長 20%；而在美國可再生燃料標準(RPS)推動下，運輸用之生質甲烷 (Biomethane) 使用量也急劇增長。

我國為自產能源相當缺乏國家，利用農林畜產等廢棄物產製生質能，除了具備能源供應效益，對於二氧化碳減量與農村經濟活絡皆有所助益。然而，生質能產業的推動，從料源開發、生質能源技術產業化、應用市場信心建立等產業供應鏈之輔導與推廣策略，皆須全盤性與積極性政策規劃。而我國欲發展「循環經濟」，建議應更積極提高生物循環之角色，研擬適合我國國情之短中長程車用生質燃料、沼氣發電等生質能源政策目標，清楚擘劃產業發展方針。

資料來源：

1. 中國國家能源局(2016)，生物質能發展“十三五”規劃，2016.10。
2. 蘇美惠(2009)，「第 30 章 生質能產業」，2010 年台灣各產業景氣趨勢調查報

告，pp.655-680，台灣經濟研究院，2009年12月。

3. Biodiesel Magazine(2016), Biodiesel's presence in future EU policy revealed in leaked draft, 2016.11.22. (<http://biodieselmagazine.com/articles/1874430/>)
4. IEA(2012), Technology Roadmap: bioenergy for heat and power. OECD/IEA. Paris. France.
5. IEA (2015), Medium- Term Renewable Energy Market Report 2015, OECD/IEA, Paris.
6. IEA(2016), Renewable Energy Medium-Term Market Report 2016, 2016.10.
7. IRENA(2016), Innovation Outlook-Advanced Liquid Biofuels, 2016.07.
8. REN21(2016), Renewables 2016 Global Status Report, 2016.06.
9. REN21(2017), Renewables 2017 Global Status Report, 2017.06.
10. RFA(2017), Building Partnerships-Growing Markets-2017 Ethanol Industry Outlook, 2017.02.
11. USDA(2016), Brazil Biofuels Annual Report 2016, 2016.08.12.
12. USEPA(2016), Final Renewable Fuel Standards for 2017, and the Biomass-Based Diesel Volume for 2018, 2016.12.16.(<https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2016-12-12/pdf/2016-28879.pdf>)