

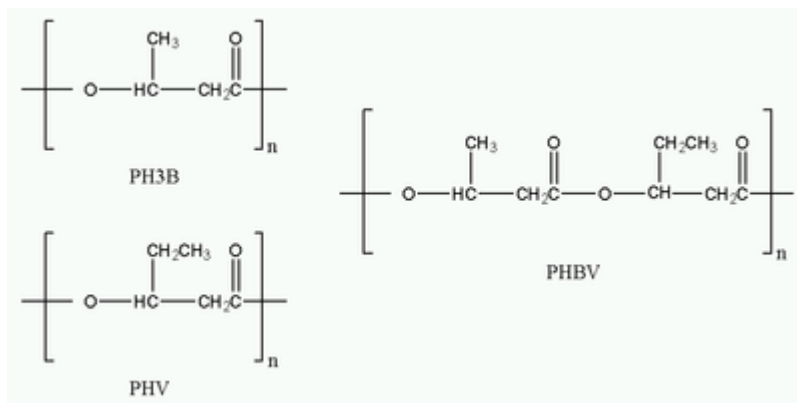
PHAs的市場發展與技術應用趨勢

台灣亞太產業分析專業協進會 101 年認證產業分析師

劉致中

一、PHA 簡介

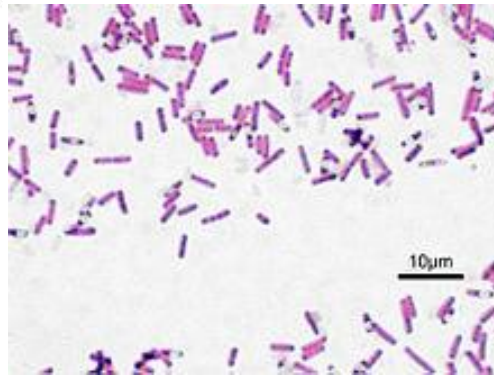
PHAs(Polyhydroxyalkanoates/聚羥基脂肪酸酯)是一系列帶有-OH官能基與脂肪酸酯官能基的高分子聚合物，包括：P3HB、PHV、PHBV等，為一群羥基脂肪酸酯聚合物的統稱。



資料來源：維基百科

圖一、PHAs 系列的高分子聚合物

PHAs 主要利用微生物(如：枯草芽孢桿菌)在生物質(如：醣、油脂、有機污水)上發酵來合成的，將微生物的菌株植入生物質中，這些菌株將會快速的增生繁殖，當繁殖到達某一程度，這些生物質的組成成份會有所改變，因而促使微生物開始合成 PHAs，PHAs 的產率有時候可以達到微生物乾重的 80%。

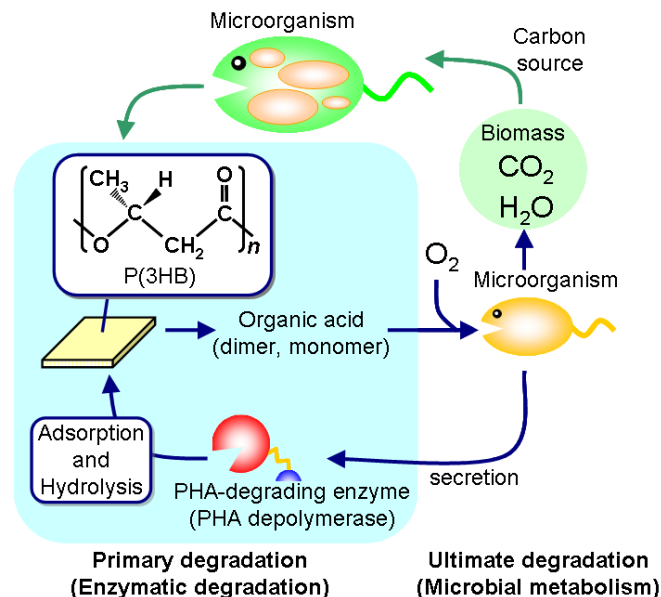


資料來源：Polyhydroxyalkanoates, WIKIPEDIA(2018/03)

圖二、可製造 PHAs 的枯草芽孢桿菌(Bacillus subtilis)

PHAs 由於是利用生物質與微生物來進行生產，屬於生物基材料(Bio-Based Materials)的一種，同時 PHAs 具有在大自然環境下生物可分解的特性，因此屬綠色與環境友好材料。同時，PHA 由於與傳統以石油為原料合成的塑膠，如：聚乙烯、聚丙烯等具有相似的材料性質，被視為替代傳統不可分解塑膠的可行方案之一。

PHAs 與聚乳酸(PLA)、聚羥基乙酸(PGA)和乳酸一羥基乙酸共聚物(PLGA)等生物基材料相比，PHAs 具有結構多元化與性質多元化的特性，使其在應用上具有較明顯的優勢。PHAs 同時具有良好的熱加工性能，因此可以使用目前塑膠製品加工廠商既有的設備進行製造。



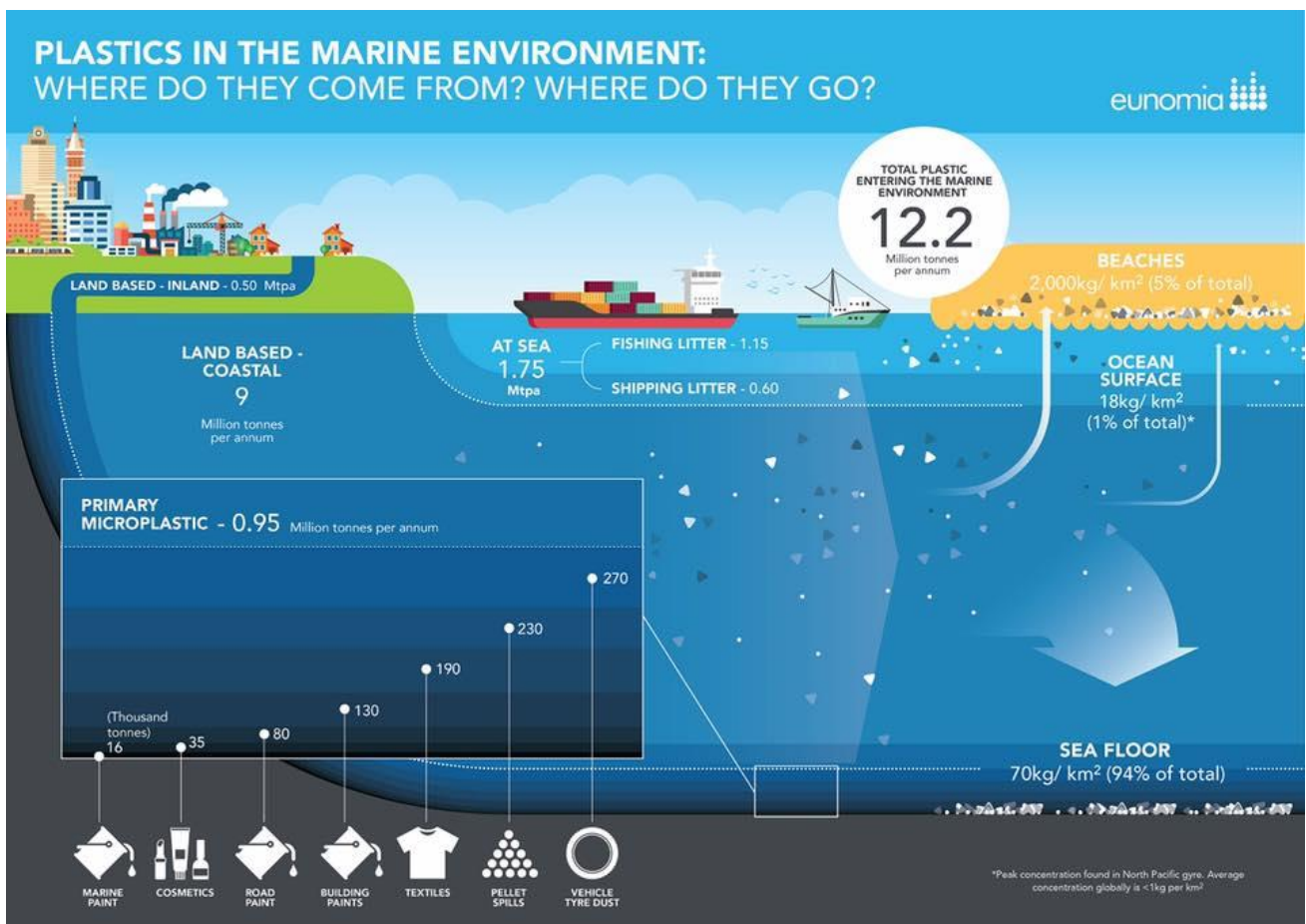
資料來源：Biodegradability of Poly(hydroxyalkanoate) Materials, Materials 2009, 2, 1104-1126

圖三、PHAs 在大自然中的循環機制

二、市場發展現況

(一) 塑膠微粒造成的海洋危機引發各國政府的限塑行動

從 2016 年 Chris Sherrington 博士發表的 *Plastics in the Marine Environment* 一文中提及，每年有 1,225 萬噸的塑膠垃圾進入到海洋生態，常在海邊看到的塑膠廢棄物只佔 50 萬噸，其餘的 900 萬噸來自於陸上人們所丟棄至海洋的塑膠垃圾，175 萬噸來自於海運船與漁船所丟棄。這些塑膠垃圾進入海洋後，其中的 94% 沉入海底，隨著時間的推移逐漸變成我們看不見的塑膠微粒，1% 漂浮於海面，5% 隨著海浪被推送至岸邊(如：圖四)。



資料來源：Plastics in the Marine Environment, Dr Chris Sherrington(2016/6/1)

圖四、塑膠垃圾進入海洋後的分布情況

每年產生的塑膠微粒量高達 95 萬公噸，這些塑膠微粒已經逐漸進入海洋食物鏈的底層；研究浮游生物的專家科比（Richard Kirby）博士拍攝的一段影片顯示，一種名為「箭蟲」的浮游生物吞食了一些極微小的廢舊塑膠纖維，塑膠纖維在箭蟲的腹中結成環狀，使食物無法通過消化道。這些塑膠微粒將隨著浮游生物逐步進入海洋食物鏈的各階層生物體中，未來將會造成何種影響，目前科學家仍在實驗評估中，但各國政府已經開始重視這個問題，以限用一次式包材(包括：塑膠袋、塑膠杯、塑膠盤、塑膠吸管等)為多數與主要的實行政策(如：圖五)。

限塑.減塑 全球大趨勢	
孟加拉	全球第一個禁塑的國家(2002年起禁止使用薄型塑膠袋)
美國	2016年加州全面禁用塑膠袋、2018/7 西雅圖全面禁用塑膠吸管
中國	2008年禁止商店提供免費塑膠袋
斯里蘭卡	2017年禁止販售塑膠袋、塑膠杯和塑膠盤
日本	2020年起所有零售商店都禁止提供免費塑膠袋
英國	25年內將禁用塑膠袋、寶特瓶、塑膠吸管等用品
法國	2020年將成為第一個全面禁用拋棄式塑膠餐具的國家
愛爾蘭	全球第一個開徵塑膠袋稅的國家(2002年起徵收塑膠袋稅)
蘇格蘭	2018年格拉斯哥禁止市政大樓使用塑膠吸管
非洲	超過 60%的非洲國家全面限塑，違規甚至還有刑責

資料來源：綠色和平台灣網站，有話好說節目整理

圖五、各國限塑、減塑的做法

(二) 歐盟推動循環經濟制定塑膠包材的循環率

2014 年 7 月歐盟發布包裝材料的循環經濟法規(Circular Economy Package, CEP)，2018 的第一組條例生效，成員國有 2 年時間將指令納入國家立法。其中針對塑膠材料的包裝訂定了 2025 年的循環率(回收+回用)目標，須達到 55%的循環率。此包裝材料的循環經濟法規已經帶動歐盟各成員國塑膠回收與再生粒的市場。

Waste classification	Current targets PPWD ¹⁾	2020 targets WFD	2025 proposal CEP ³⁾	2030 proposal CEP ³⁾	2025 proposal ENVI	2030 proposal ENVI
Municipal waste	Recycling/re-use	50 %	60 %	65 %	65 % ⁴⁾	70 % ⁴⁾
	Landfill (max.)			10 % ²⁾		5 % ²⁾
Packaging waste	55-80%		65 %	75 %	70 %	80 %
Paper, cardboard	60 %		75 %	85 %	90 %	
Plastic	22.5 %		55 %		60 %	
Glass	60 %		75 %	85 %	80 %	90 %
Ferrous metals	50 %		75 %	85 %	80 %	90 %
Aluminium	75 %	85 %	80 %	90 %	75 %	85 %
Wood	15 %		60 %	75 %	65 %	80 %
Bio-waste					65 %	70 %
Construction waste	Recycling/re-use	70 %				

PPWD Packaging and packaging waste directive, 2005/20 EC
 WFD Waste framework directive, 2008/98 EC
 CEP Circular economy package, COM(2015)595, COM(2015)596
 ENVI Environment Committee, European Parliament
 1) Recycling targets
 2) Landfill ban on separately collected plastic, metal, glass, paper, cardboard and biowaste
 3) New definition of point of measurement
 4) Including a minimum of 3% (2025) and 5% (2030) of total municipal waste prepared for re-use
 Estonia, Greece, Croatia, Latvia, Malta, Romania and Slovakia may obtain five additional years for the attainment of the 2025 and 2030 targets.

資料來源：The EU Circular Economy Package and The Circular Economy Coalition for Europe

圖六、歐盟執行循環經濟的相關法規與目標

三、主要生產 PHAs 的技術種類

(一) 菌種發酵法

1980 年代，英國 ICI 公司(Imperial Chemical Industries Ltd)開發利用 *Alcaligenes eutrophus* 菌經由發酵製程，以葡萄糖(Glucose)與丙酸(Propionic acid)為原料，生產 P3HB 的技術，同時將此技術生產的 PHA 商品命名為「Biopol」。後來 Monsanto 公司買下其生產與商標權，自 1996 年時開始生產 P3HB，並使用 Biopol 的商標在美國市場行銷。2001 年 Metabolix 公司向 Monsanto 公司買下了 P3HB 的生產線與 Biopol 商標的使用權，將 Biopol 生產與銷售納入 Metabolix 旗下原有的 PHAs 系列生產產品品項中。2007 年 Metabolix 與 ADM(Archer Daniels Midland)公司合資成立了一間新公司—Telles，並採用新的商品名—Mirel 進行 PHA 產品的行銷，商方合作至 2012 年終止。

(二)基改作物法

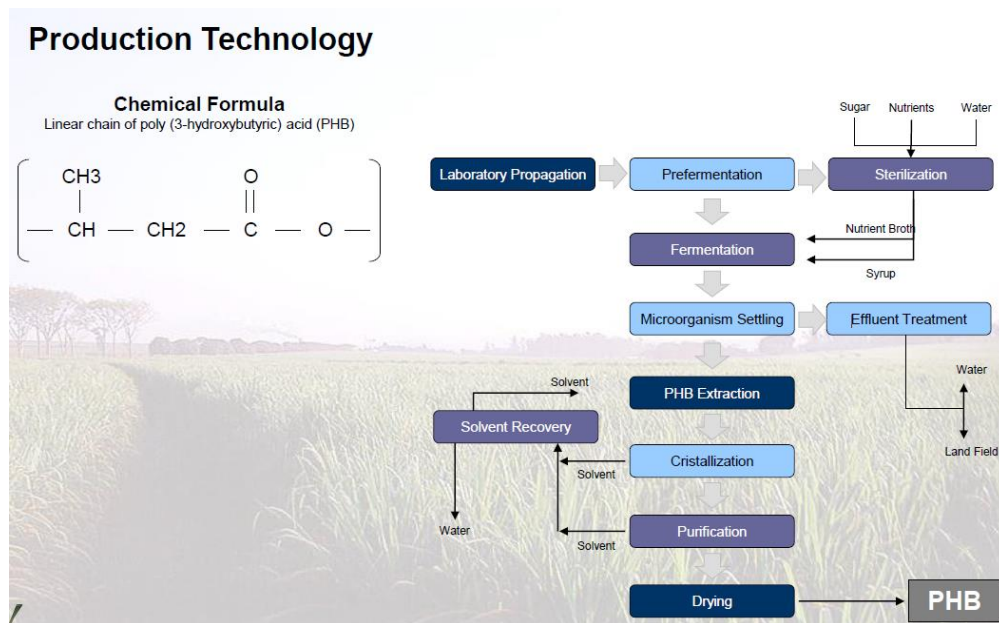
Metabolix 公司也同時開發了利用基改作物生產 PHAs 的技術—2009 年 Metabolix 發表了利用基改菸草(Tobacco)合成 PHAs 的田間試驗成果，近期也發表了利用基改的 Switchgrass(為一種原產於北美，夏季生長快速的多年生草本植物)在溫室中合成 PHAs 的技術。

(三)基改菌種發酵法

由於北美和南美以及亞洲大部分地區政府對基改作物採不開放甚至反對的態度，越來越多的 PHAs 基改研究朝向調整發酵菌種基因的方向進行，特別是從改造 PHA 合成酶來提高 PHA 合成效率來進行，將 PHA 合成酶改造後，可使 PHA 的合成結構產生變化，合成的 PHA 分子量也發生改變。另一方面，透過強化表達單體的合成基因，也可以使 PHA 的合成結構發生變化，從而引起 PHA 性能的變化，例如：利用革蘭氏陰性桿菌(*Acromonas hydrophila*)，其為一種親水產氣單胞菌，經由調整不同的碳源比例，通過代謝調控革蘭氏陰性桿菌的數量，可以合成不同 3HHx 比例的 PHBHHx。

美國的寶潔公司(P&G)積極參與基改菌種發酵生成 PHA 的研究與開發，P&G 公司與日本的 Kaneka 公司在 2004 年時進行將 Nodax 實現商業化的相關研究(Nodax 為 Polyhydroxybutyrate-co-hydroxyalkanoates, PHBHx/PHBO/PHBOd)，希望達到每公斤材料售價可以落在 2€的範圍內，但此計畫在 2006 年時終止，2007 年時 P&G 公司也將 PHAs 的技術出售予 Meredian 公司。

巴西的 PHB Industrial 公司，為巴西製糖公司 Pedra Agroindustrial S.A.與 Balbo Group 公司所合資，則從製糖的副產品—糖蜜來生產 PHB 與 PHVB，產品品牌為 Biocycle®，預計 2020 年時產能將擴充至 30,000 公噸。



資料來源：PHB Industrial (2018/05)

圖七、Biocycle®的生產流程

全球目前有許多的中小型公司聚焦於發展基改大腸桿菌生產 PHAs 的方法，這種方法有機會使生產成本下降到\$1~1.5/磅的範圍內，而使產業化量產的機會大增。

四、IEK View—未來市場與技術發展方向

目前 PHAs 因市場對生物可分解材料需求的上升而增加，逐漸邁入產業成長期，技術開始面臨量產的挑戰，生產成本在量產的情況下，必須控制到某種範圍內(2~3 USD/Kg)，這些目標是現階段 PHAs 研發人員面臨的挑戰。

(一)可分解塑膠與塑料回收市場將逐漸開啟

歐盟發布包裝材料的循環經濟法規已經帶動歐盟各成員國塑膠回收與再生粒的市場，對於塑膠使用量極大的台灣、中國大陸、日本與韓國，限塑造成的日常生活便利性下降已引起消費

者與塑膠製品業者的反對與抗議的聲浪，可以兼顧環境保護與消費便利性的生質可分解塑膠未來應會成為這些塑膠重度使用地區的重要替代方案。

(二)利用有機廢水，降低爭糧疑慮與生產成本

Micromidas 與 Veolia 子公司 AnoxKaldnes 開始研究將發酵原料從葡萄糖和蔗糖等碳水化合物，轉換為來自植物油或生質柴油的副產物甘油，甚而利用有機廢水作為碳源，生產包含 PHA 在內的生質化學品。採用有機廢水作為碳源時，需使用基改菌種填充現有的家庭污水處理廠而進行生產，應用這種方法可以產生濃度在 50~60% 的 PHA 污泥，PHA 可以相對容易地從其餘的污水污泥中分離出來。

使用原料的轉換可以避免原先使用葡萄糖和蔗糖等原料而引發的與民爭糧的問題，同時在協助降低廢水有機質濃度的效益下，可有效的降低生產所需的成本。

(三)生質酒精與抗生素既有產線改造提升獲利

目前國際上已有廠商利用以前生產抗生素或生質酒精的既有發酵工廠，進行少量投資即可進行 PHA 的生產，這對於目前價格一直低迷的生質酒精生產廠商來說，無疑的替廠商開啟另一扇投資的大門。

(本文作者為工研院產科國際所執行產業技術基磐研究與知識服務計畫產業分析師)

原文出處：ITIS 智網 <http://www.itis.org.tw/>