



生物可分解性塑膠 遇水即降解

生物可分解性塑膠在堆肥環境中，六個月內就能分解 90%，可大幅減少塑膠污染問題。不過，相對於一般泛用的塑膠，可分解性塑膠的機械強度及耐熱性較低，價格較傳統塑膠高，限制了它的應用與發展。

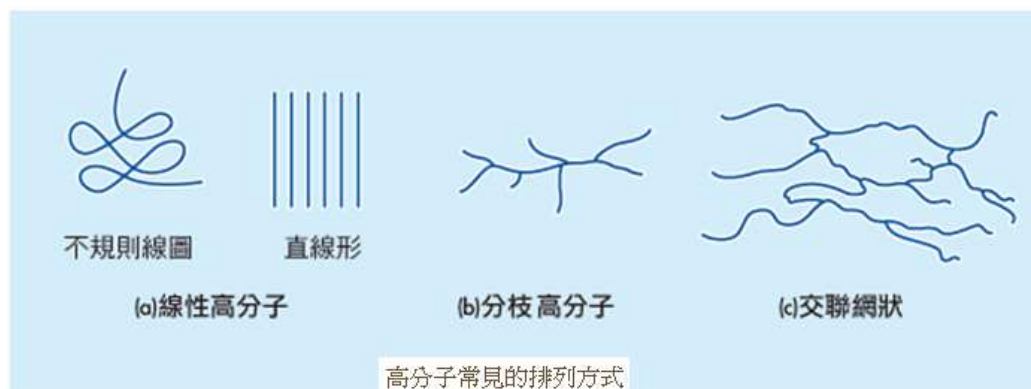
塑膠為何不易分解？

塑膠由於質輕、便宜，又具有機械强度高、耐熱、耐酸鹼等特性，從購物袋、盛裝容器到各種家電等，都會使用塑膠，塑膠製品充斥於我們的生活環境。據統計，全球每年所生產的塑膠製品已經超過兩億公噸，材料包含聚氯乙烯 (PVC)、聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、(聚苯乙烯 PS) 等，這些塑膠因為化學性質太安定，不易分解，產生相當嚴重的垃圾污染問題。

塑膠是由數千個小分子單體聚合而成的高分子聚合物，如聚乙烯是由乙烯 (C₂H₄) 單體聚合、聚氯乙烯是則是氯乙烯 (CH₂CHCl) 單體聚合而成，主鏈上的碳碳間鍵結十分牢固，要將它打斷成小分子並不容易。

另外，由於小分子聚成高分子時，其排列方式有成線形鏈狀或交聯網狀 (見下圖)，因此當分子量到達某一程度時，分子間的排列方式會變得複雜，彼此間會有交互作用，要讓它們分解回原來的小分子相當困難，這也是高分子比小分子化合物更具強度、耐腐蝕的原因。

由於塑膠分子多為碳、氫構成的長鏈，缺乏易分解的基團，更使得塑膠不易降解。例如寶特瓶的原料聚對苯二甲酸乙二酯 (PET)，是聚酯類化合物，酯基 (COOR) 本身容易水解，但其上接有化學性質極穩定的苯環，造成 PET 親水性不足，而使酯基難以水解。不像蛋白質是以帶有羧基 (COOH) 的胺基酸單體聚合而成、澱粉是以帶有羥基 (OH) 及醛基 (RCHO) 的葡萄糖單體聚合而成，它們雖然是高分子聚合物，但是有很好的親水性，在適當的條件下可以產生水解。



生物可分解性塑膠 遇水即降解

為了解決塑膠廢棄物逐年增加的現象，國外許多企業皆投入龐大資金發展可分解性塑膠材料。到目前為止，發展出來的可分解性塑膠其降解方法包含「光降解」、「氧化降解」和「生物降解」。

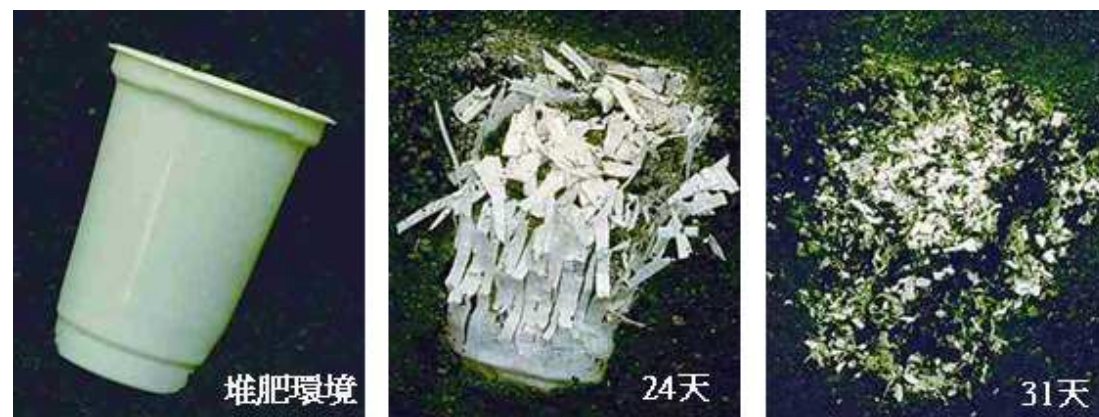
光降解是在製成塑膠的原料「塑膠粒」中加入光敏劑 (過渡金屬鹽類或羰基 (C=O) 化合物)，光敏劑會吸收紫外光，使塑膠主鏈上的能量增高，而讓鄰近的碳碳鍵斷裂；除了添加光敏劑，也可以在聚合物的主鏈接上吸光物質，如聚乙烯與一氧化碳共聚同樣能藉由光降解。

氧化降解是於塑膠粒中混入澱粉及氧化劑，當這類塑膠埋到土壤後，澱粉會最先被微生物分解，剩下千瘡百孔的塑膠，便能靠氧化劑加速化學反應分解成較小的分子。這類塑膠因為未必能完全分解，有時也被稱為「可崩解性塑膠」。

淡江大學化學工程與材料工程學系教授董崇民表示，光降解和氧化降解法製成的塑膠產品雖然強度夠強，且可縮短塑膠分解時間，但縮短時間有限，而且有些添加物對環境有害，因此不算理想的可分解性塑膠。現在較多科學家投入研究的，是以生物降解的生物可分解性塑膠。

分解塑膠 只要 180 天

生物可分解性塑膠材料多是以不含苯環的聚酯類化合物當做主要原料，這是利用酯基遇水易水解，造成主鏈斷鍵，降低分子量，而微生物酵素可持續將聚酯類化合物分解成更小的分子，最後便只剩下水和二氧化碳。通常在堆肥環境中，濕度達 50%、溫度約 60°C，以及氧氣充足的條件下，六個月內生物可分解性塑膠能分解 90% 以上。



圖為以乳酸為單體聚合製成的塑膠杯 (Ingeo™ PLA 一次性使用飲料杯)，在工業堆肥試驗中，所呈現的自然分解過程。堆肥環境為：60°C、相對濕度 90%，並含充足的微生物。(影像來源：美國 NatureWorks 股份有限公司)

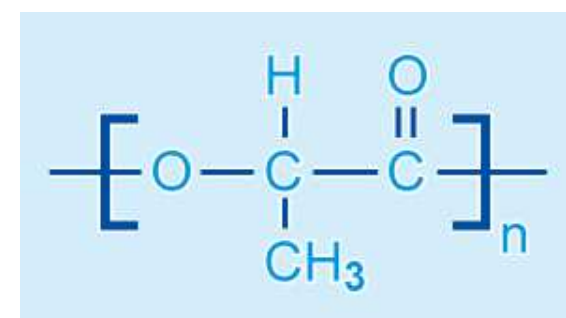
生物可分解性塑膠的製造方法主要有三種。一種是取天然高分子化合物，如澱粉與聚酯類高分子化合物在高溫下以機械方法攪拌混合。天然高分子雖然來源豐富、價格便宜，且分解速度快，然而澱粉加熱後不易塑形，因此製程中還要添加熱可塑劑等，再加上以此製成的塑膠強度較弱，所以應用有限。生物可分解性塑膠另一種製造方法，是利用某些微生物發酵生產聚酯類高分子當做塑膠的材料，這類塑膠的強度、耐熱性均相當高，不過成本極高，目前仍在研發階段。現在最常見的方法是用化學合成技術大量生產生物可分解性塑膠，而主要的化學合成聚酯塑膠以聚乳酸 (poly(lactic acid), PLA，為一種聚酯類) 較多。

聚乳酸是取玉米、樹薯等植物中的澱粉，將其分解成葡萄糖後再由乳酸菌發酵為乳酸，乳酸經脫水酯化、聚合，即成為聚乳酸。現在許多可分解的餐具、骨固定零件 (骨板、骨螺絲與骨釘)、外科縫線、垃圾袋等，都是以聚乳酸製成。

董崇民表示，不論用何種方法製作生物可分解性塑膠，都具分解速度快、燃燒不會產生戴奧辛等優點，然而在實際應用上，卻有許多待解決的困難，例如生產成本約是傳統塑膠的 2~3 倍、加工难度大、機械強度差、超過 60°C 塑材會軟化等。因此，有些廠商會在塑膠粒中混入奈米蒙脫土 (一種黏土)，增加塑膠強度、可耐 130°C 高溫，但成本會相對提高。此外，也有在聚酯類的塑料中，接上微量的帶苯環酯類，如 PET 的原料對苯二甲酸乙二酯單體，增加強度及耐熱度，不過，分解速度相對會變慢。

生物可分解性塑膠儘管仍有一些缺點，但在生態環保、永續發展的趨勢下，當它的應用及自身性能不斷提高後，仍可望取代大部份傳統塑膠。

資料來源：科學人網站—科學 Easy Learn
作者：楊嘉慧，電腦繪圖：姚裕評，審稿：淡江大學化學工程與材料工程學系董崇民教授
<http://sa.ylib.com/saeasylearn/saeasylearns/how.asp?FDocNo=1638&CL=86>



圖為聚乳酸的結構。19世紀末期科學家就已經知道聚乳酸的製法，但當時能合成的分子量相當小、強度低，直到 20 世紀中葉才找出合成高分子量聚乳酸的方法