

從另一個 R 與新織品談起

劉廣定

今年是公元 2014 年，也是聯合國科教文組織所訂「永續發展十年教育」（DESD, 2005~2014）的最後一年。十年來，許多國家都積極推展，臺灣的教育界卻始終未認真將「永續發展」做一整體考量，而只在環境保護教育這一有限的範圍內打轉（請參考《科學月刊》2010 年 9 月號頁 644~645 拙作）。今年新公布的《十二年國民基本教育課程總綱（草案）》更只有「積極致力於生態永續、文化發展等生生不息的共好理想」，「永續發展」一辭則已不見，難道「永續發展」對臺灣不重要嗎？還是臺灣的學生和社會已很了解「永續發展」呢？

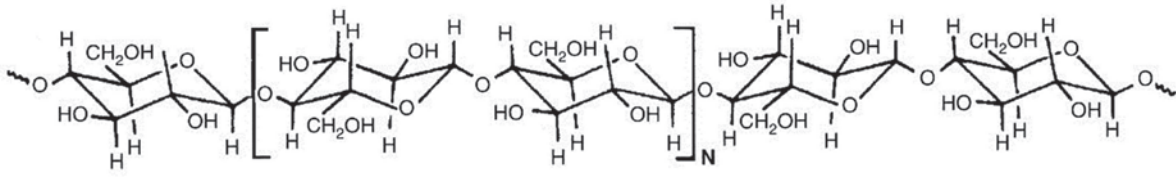
推動「永續發展」是當代工業社會所造成種種「病症」的良藥和健康食品，不應忽視。若政府和民眾不能正確認識永續發展之意義與目標，將有礙於國家社會之順利發展和進步。以工業生產為例，化學工業先進國早有 3R 原則以減少廢棄物，即 Recycle（循環再製）、Reduce（減用量）和 Reuse（再使用）。自 1980 年代後期起，永續發展觀念在國際上逐漸普受重視，具實用性的永續化學研究如雨後春筍，蓬勃發展。設計新方法及新製程，除改變反應條件外，改用新原料、新試劑和新溶劑也都成為研究發展之重點（請參考《科學月刊》2012 年 4 月號頁 314~318，6 月號頁

474~477 拙作）。**Replace**——「替換」可以說是追求永續發展的另一個 **R**。

行政院環境保護署廢棄物管理處曾於今年 2 月 13 日發布新聞，說明已將《廢棄物清理法》及《資源回收再利用法》二法合為《資源循環利用法（草案）》，並函送立法院審議中。此法在傳統的 3R 之外，加上能源回收（Energy Recovery）和新生土地（Land Reclamation）兩項，即納入所謂「5R」精神。但美中不足是缺少了具有研究創新精神的另一個 **R**——「替換」，可見臺灣各界並不真正了解永續發展。本篇將以織品為例說明永續化學裏的「替換」。

棉纖維與棉纖維之強化

二十世紀中葉人造纖維織品與混合紡織品開始普遍之前，一般民眾最普遍使用的是棉織品。棉是錦葵科（Malvaceae）草棉屬（*Gossypium*）植物的種子纖維，花朵為乳白色，開花後凋謝，留下內含棉籽的小型蒴果，稱為棉鈴。棉鈴成熟後裂開，露出棉籽表皮所長出白色與略帶黃或紅色之柔軟纖維。含纖維素約 90%，經處理後可製成棉絮、棉線、棉布和棉紙等。棉製織品與傳統的紙相似，由纖維素分子以氫鍵相接所構成（請參考《科學月刊》2012 年 10 月號頁 794~797 拙作）。故吸

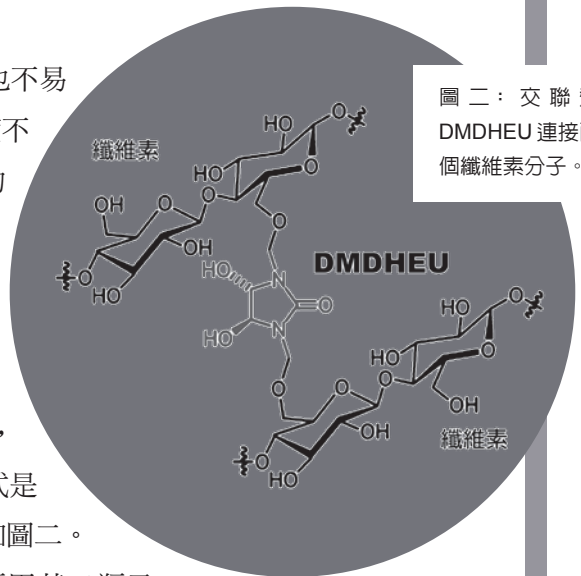


圖一：纖維素。N ≈ 5000。

濕性好（纖維素分子有眾多親水性官能基，圖一），不刺激皮膚，也不易產生靜電，且一般感覺舒適柔軟。棉纖維的缺點是不易乾燥，因強度不夠易起皺且不易恢復，也不耐磨損，不耐酸，又易受黴菌等微生物的侵害。織品起皺後高溫「熨燙」是很麻煩的，需要人力，也消耗能源。

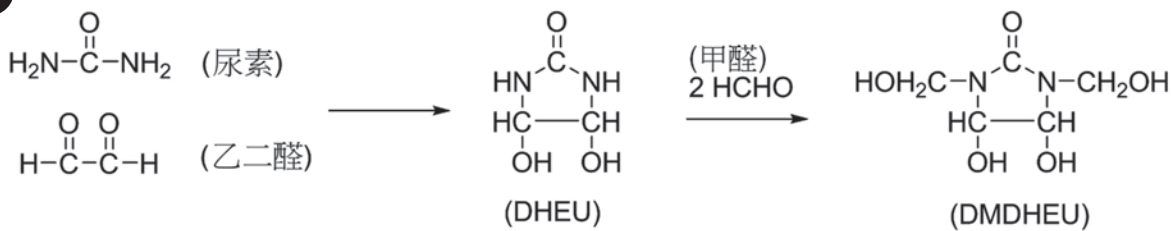
為改善純棉纖維之易皺缺點，乃對棉纖維進行強化處理，使織品成為「耐熨 (durable press)」、「免熨 (permanent press)」，或「不皺 (wrinkle-free)」。一種方式是將人造纖維與棉纖維適度混合紡織，即所謂「混紡」，常見的例如棉 - 聚酯（聚對苯二甲酸乙二酯，達克綸）。唯混紡織品與純天然織品之觸感仍有些差異。另一種方式是加入「交聯劑 (cross-linker)」將纖維素分子以一些化學鍵相連接，如圖二。

圖二中的 DMDHEU 乃 dimethylol dihydroxyethylene urea（二羥甲基二羥乙脲）之縮寫。它是由尿素 (urea) 與乙二醛 (glyoxal) 縮合，生成二羥乙脲 (DHEU)，再與甲醛作用而得 (式 1)。DMDHEU 與纖維素反應，脫去水分子而交聯成強化的纖維素 (式 2)。實際上，1950 年代 DHEU 也曾用為交聯劑以製免熨織品，但因本身易水解而後為 DMDHEU 所代

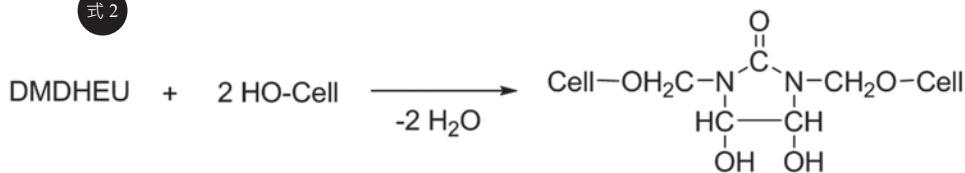


圖二：交聯劑 DMDHEU 連接兩個纖維素分子。

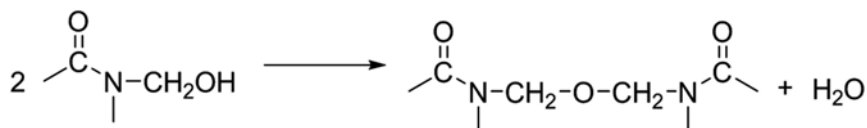
式 1



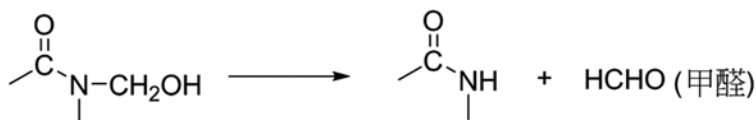
式 2



式 3



式 4



式 5



「纖維素」與「纖維」

纖維素 (cellulose) 是由葡萄糖聚合而成的一種分子，而纖維 (fiber) 是具有細絲形狀的一種物質；例如纖維素可組成棉花纖維，玻璃可經抽絲製成玻璃纖維。

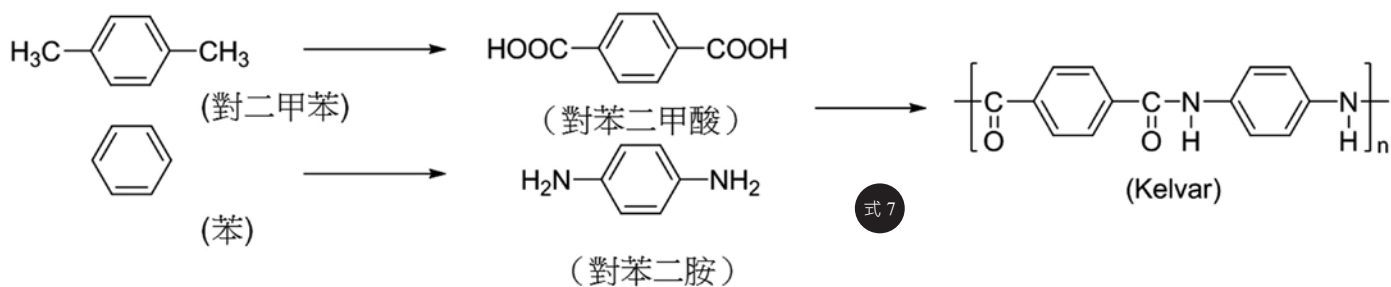
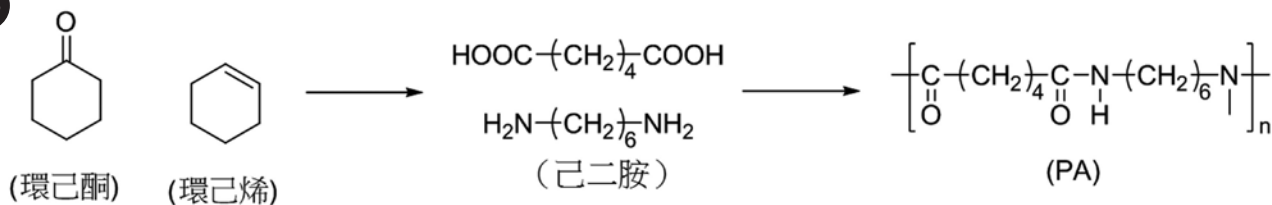
替。然而，在交聯的過程中 DMDHEU 也會發生如 (式 3~5) 之反應，在織品中殘留下的甲醛 (式 4) 很難除盡。

近年來，因甲醛的致癌性，故改用不產生甲醛的交聯劑，或嘗試在交聯的過程中除去甲醛都成為重要的研發課題。2013 年 7 月美國的 Emerald Specialties 宣稱已發明了一種由乙二醛製成的樹脂名為 FREEREZ[®] ZERO，用以做為棉織品交聯劑，不會產生甲醛。是以「替換」達成了永續化學，對環境友善製程之一例。

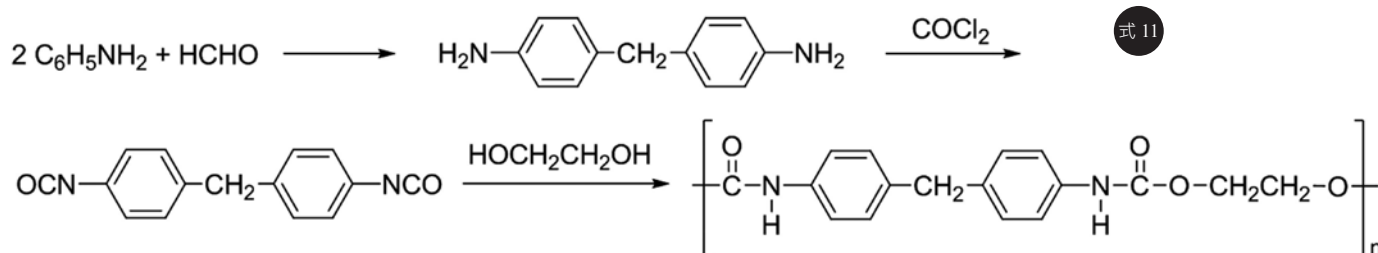
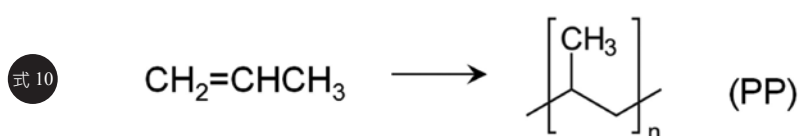
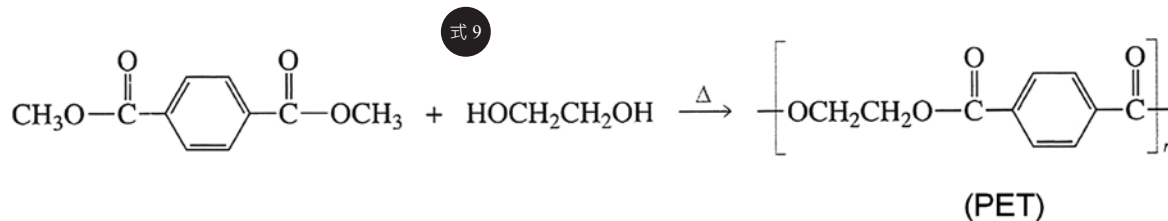
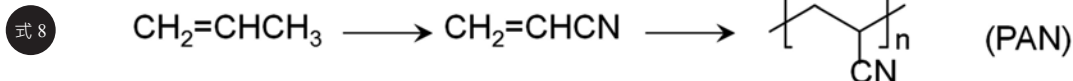
人造纖維與永續發展

由於石油化學工業快速進展，各式各樣人造纖維約自 1940 年代陸續問世，在許多場合取代了傳統纖維。如聚醯胺 (如尼龍或稱耐綸，PA) 與高強度芳族聚醯胺 (如 Kelvar)，聚丙烯腈 (奧綸或稱腈綸，PAN)，聚酯 (如達克綸，PET)，聚丙烯 (丙綸，PP)，聚胺酯 (如胺綸或稱氨綸，PU) 等均是。例見以下各式：

式 6



式 7



自以上各式可知這些人造纖維的原料大多來自「不可再生性的」石油或天然氣，故1990年代起永續化學之思想與行動從萌芽而蓬勃發展，如何替換「不可再生性的」人造纖維也成為熱門的研發對象。現已有些回收再使用之例，例如將回收的聚酯保特瓶重新抽絲，可再製成纖維產品（參閱本刊2012年6月號頁476）。另外還有三條路徑：（一）部分原料為「可再生性的」；（二）原料都是「可再生性的」；（三）恢復使用天然纖維。下文將分別舉例介紹。

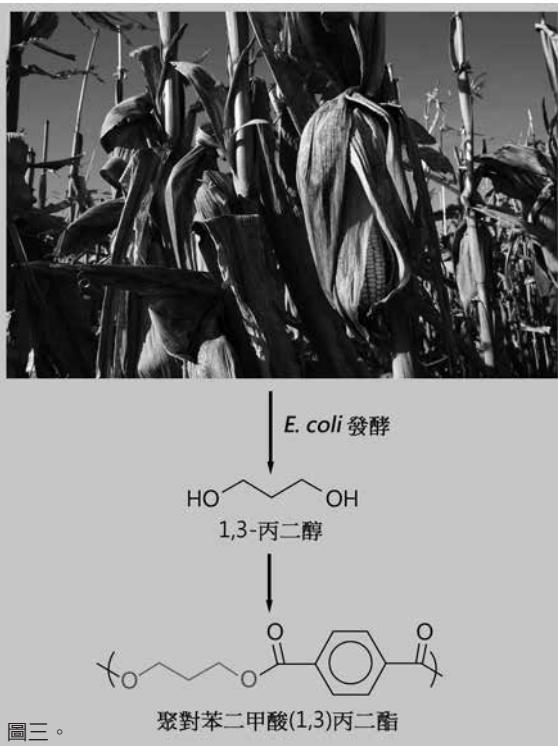
聚對苯二甲酸(1,3)丙二酯 (Sorona®)

「聚對苯二甲酸(1,3)丙二酯」是部分原料為「可再生性的」一種人造纖維。乃美國杜邦公司於2000年發展成功以1,3-丙二醇代替1,2-乙二醇，與對苯二甲酸形成的高分子聚合物，商品名Sorona®。如圖三。

據悉，該公司用玉米中的葡萄糖，再開發葡萄糖轉變成1,3-丙二醇(PDO)生物技術製程。總共修改了27個基因，最後才生產出PDO。原料的37%為可再生性。製出的新型聚酯纖維兼具原聚酯和聚醯胺的優點，可在約95°C染色（比PET低10~15°C）。與耐綸-6的製程比較，製Sorona®可省30%能量，少放63%溫室效應氣體；與耐綸-66的製程比較，

則可省 40% 能量，少放 56% 溫室效應氣體。因此該公司這一成就獲得 2003 年美國環保署的總統永續化學挑戰獎。

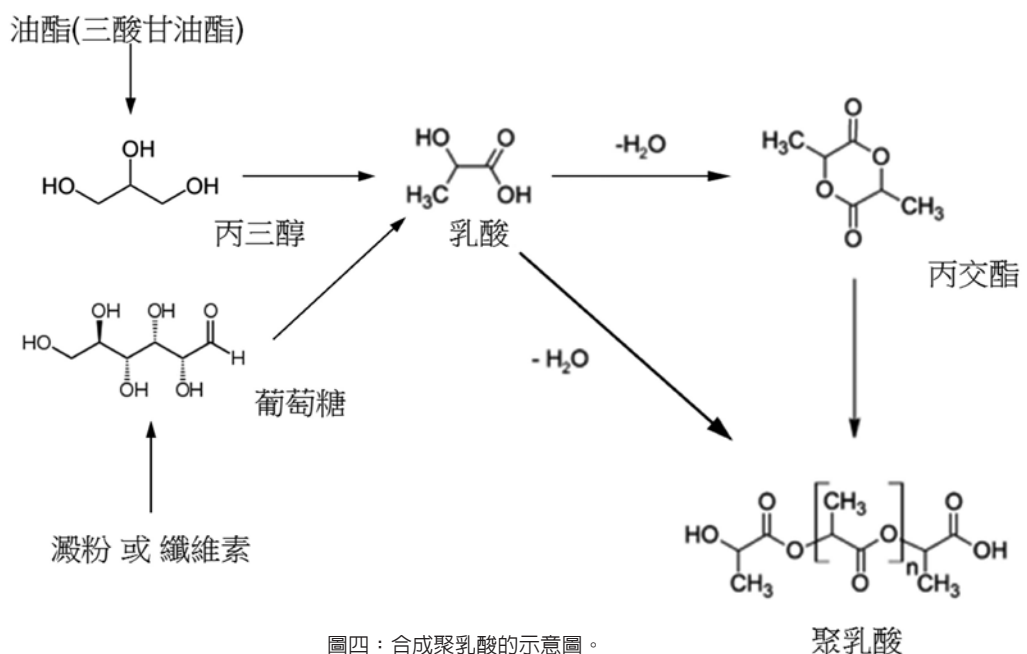
(參見 III C&EN, Vol. 82, No. 3, p. 76)



可再生性的聚乳酸

聚乳酸 (polylactic acid) 可由乳酸 (lactic acid) 聚合，或由兩個乳酸分子先形成丙交酯 (lactide) 再聚合而成。澱粉及纖維素都可經水解或酵素觸媒分解成葡萄糖，而葡萄糖又可經化學觸媒或酵素觸媒轉變成乳酸。另外，油脂中之三酸甘油酯水解形成丙三醇 (甘油)，再經化學觸媒或酵素觸媒也可轉變成乳酸。因此，聚乳酸乃由「可再生性的」原料所製成的聚合物 (圖四)。

聚乳酸是一種熱塑性聚酯，一般具有良好的機械和加工性能，其產品廢棄後又可藉生物及化學方法快速分解。除製纖維外，已經廣泛應用在生物醫學工程上，例如用作手術縫合線及骨釘等，還可製造多種日常用物，用途甚廣。廢棄的聚乳酸可以回收再用，也可經生物分解而不致成為長留地球的垃圾。是一種符合永續發展的需求，又具優良性能的聚合物。



〔註一〕

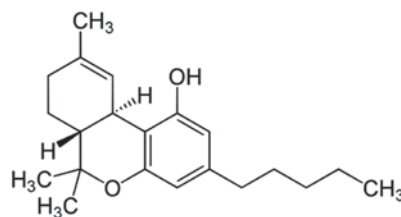
回歸大自然

由於人造纖維的原料無論是否屬於「可再生性」，仍須以化學製程為主，才能大量生產，故恢復使用自然界生產的植物纖維，也是永續發展之一途。

上文提到的「棉」，從永續化學的觀點來看，有些嚴重的缺點。栽培棉需要使用大量肥料，也需要大量農藥和殺蟲劑。據統計，全球耕地的 2.4% 為棉花田，但栽培棉每年卻用了全球農藥消耗量 11% 和全球殺蟲劑消耗量 24%。許多農藥和殺蟲劑對人或環境都是有害的，栽培棉所常用的 15 種殺蟲劑中有 7 種為疑似致癌物。據世界衛生組織 WHO 估計，每年全球約有兩萬位棉花產業工作者與農民因農藥或殺蟲劑而死亡。再加上每生產 1 公斤棉需要約 20000 公升的水等，在在皆不符永續化學之原則。即使所謂「環保棉」或「有機棉（organic cotton）」也只是使用天然肥料及土壤中不得有殘留的農藥或殺蟲劑而已。

「麻纖維」。大麻屬植物（*Cannabis*）具有許多優異性能，如耐旱而不需很多水來栽培，抵抗力強而無需農藥和殺蟲劑，也不需要化學肥料。其一缺點是大麻屬植物含或多或少的萜酚類化合物大麻素（cannabinoids），例如四氫大麻酚（Tetrahydrocannabinol, THC）又稱 Δ^9 -四氫大麻酚（圖五），乃興奮活性物質，許多國家都視如毒品，加以管制。故推廣麻纖維有些問題必須考慮。

「竹纖維」是竹材經處理後，製成之纖維。栽種竹科植物除如麻不需農藥、殺蟲劑和化學肥料，且竹林利用水分的效率約為一般樹林的兩倍等各種優點外，竹子長的很快。每



圖五：四氫大麻酚。

公頃竹林約可產竹達 60 噸，一般樹木約為 20 噸，而每公頃棉花田只生產 1~2 噸棉花。因此，每年每公頃竹林約可吸收 62 噸二氧化碳，遠多於一般新造林的 15 噸，對減低溫室效應頗為有效。

Gramineae 毛竹是中國最重要的竹子，林地約 300 萬公頃，約佔中國大陸森林總面積的 2%。中國大陸是世界最重要的竹纖維生產地。據悉，中國科學院上海物理研究所曾證明，對於 200~400 nm 紫外線，棉的穿透率為 25%，竹纖維則低於 0.6%，故竹織品的抗紫外線能力很強，是其他自然界生產的植物纖維之所不及。

其他還有木漿纖維（Lyocell，商品名 Tencel），黃豆纖維等均可做為環境友善織品的原料，限於篇幅不贅述。

註一

本節一些數據乃取自維基百科，唯有些資料來源網站已失聯，故未克一一核驗。

劉廣定

臺灣大學化學系名譽教授