

# 建立循環供應鏈的新纖維與新技術

2022年3月  
紡拓會編譯

# 建立循環供應鏈的新纖維與新技術

## 目 錄

## 頁次

摘要.....	1
緒論.....	1
第 60 屆 Dornbirn 全球纖維大會 (DORNBIRN-GFC).....	2
RISE 2021 (改造織物的研究、創新及科學會議).....	9
紡織品永續加工會議.....	16
結論.....	20

## 摘要

環保永續的原料、製程、產品，以及循環供應鏈，是紡織與不織布產業最重要的議題。這從 2021 年 9 月與 10 月分別舉行的三個「虛擬」會議就可明顯看出。它們分別是第 60 屆 Dornbirn 全球纖維大會(Dornbirn-GFC)、改造織物的研究、創新及科學會議(RISE)及紡織品永續加工會議 (Conference of Sustainable Finishing of Textiles)。

在 Dornbirn-GFC 中提到，2019 年 12 月宣布的歐洲綠色政綱(European Green Deal)以歐盟於 2050 年前成為氣候中和為目標，受到政府、非政府組織、倡議分子及不織布與塑膠產業領導業者的歡迎，被視為是有助防止氣候變遷的有力推手。政綱的一個要件是，依照廢棄物架構方針(Waste Framework Directive)，2025 年前歐盟需實施強制性分開回收廢棄衣物。為了因應這個方針的新要求，一系列新的再生纖維正在開發中，尤其是北歐的公司，包括 Infinited Fiber Company、Renewcell、Södra、Spinnova 及 Stora Enso。

在 RISE 會議裡，重要的主題之一是生物聚合物，以及可用於製造不織布的生物聚合物。另外還有一些計畫的細節，包括使用高溫分解的方法讓一次性口罩以閉環式回收再生的可行性，以及使用甲醇分解的方法以分子回收再生方式處理塑膠廢棄物。

在紡織品永續加工會議中，包括 adphos Group、Alchemie Technology、Baldwin Technology、Coloreel、Dyeco、Green Theme Technologies 及 Imogo 等公司，都介紹它們在染整加工方面的「極簡應用數位技術」。

## 緒論

環保永續的原料、製程、產品以及循環供應鏈現在是紡織與不織布產業最重要的議題。

這從 2021 年 9 月與 10 月分別舉行的三個「虛擬」會議就可明顯看出，它們是：

- 第 60 屆 Dornbirn 全球纖維大會 (Dornbirn-GFC)
- 改造織物的研究、創新及科學會議 (RISE)
- 紡織品永續加工會議 (Conference of Sustainable Finishing of Textiles)

## **第 60 屆 Dornbirn 全球纖維大會**

第 60 屆 Dornbirn 全球纖維大會(Dornbirn Global Fiber Congress, Dornbirn-GFC)由奧地利纖維研究中心籌辦,以虛擬方式於 2021 年 9 月 15-17 日舉行。活動包括 96 場關於人造纖維產業的講座,分於兩個「線上會議廳」舉行。

這些講座包含主題論文,由來自包裝業、紙業及塑膠業的代表講演,檢視這些產業一些可以在紡織業複製的成功故事,因為它們皆使用纖維化原料或聚合物作為原料。

世界自然基金會(WWF)德國分會執行總監 Martin Bethke 並以一篇深化論文分享非政府組織的觀點。

## **改造織物的研究、創新及科學會議 (RISE)**

改造織物的研究、創新及科學會議(Research, Innovation & Science for Engineered Fabrics, RISE)由總部位於美國北卡州 Cary 市的不織布產業協會(INDA)籌辦,於 2021 年 9 月 28-30 日舉行。

會議提出 23 篇論文,隨之以問答討論,主題圍繞著不織布產業的創新。

重要主題包括：

- 應用於製造環保永續產品的材料科學新發展
- 促進循環性與製程創新
- 一次性塑膠與吸收性衛生用品以及來自政府與非政府組織的挑戰

## **紡織品永續加工會議**

紡織品永續加工會議(Conference on Sustainable Finishing of Textiles)由位於英國 Droitwich 的出版公司 International Newsletters 籌辦,於 2021 年 9 月 30 日、10 月 1 日及 10 月 7 日三天的下午舉行。

這場會議是同一機構於 2021 年 2 月舉辦的紡織塗層世界大會(World Congress on Textile Coating)之後的一場活動。2 月的會議中凸顯了染整製程的主要變化,在 9 月的這場會議中有更深入的討論。

## **第 60 屆 Dornbirn 全球纖維大會 (DORNBIERN-GFC)**

奧地利 Lenzing(蘭精)集團的技術長 Robert van de Kerkhop 在大會第一天的主題演講裡,提醒大家注意「生態焦慮感」的上升。

這種情況主要影響年輕的消費者，因為他們不斷面對氣候變遷及其帶來的破壞的負面消息。許多年輕人愈來愈覺得無力，甚至因而罹患憂鬱症。

Van de Kerkhop 主張，政府、產業及媒體同樣有責任將這種焦慮化為正面力量。好消息是，全球的投資集團皆擔憂石油與天然氣使用的成長，因此轉向他處尋覓投資機會。因而有許多新投資在探索替代性原料與技術，並有大幅的基金準備好投資於強大的想法與踏實的計畫。

### 歐洲綠色政綱、廢棄物架構方針、製造商延伸責任制(EPR)及環保設計

Van de Kerkhop 提到，2019 年 12 月宣布的歐洲綠色政綱(European Green Deal)具高度企圖心，並受到政府、非政府組織、倡議分子及不織布與塑膠產業領導業者的歡迎，被視為是有助防止氣候變遷的有力推手。

依據這項政綱，750 億歐元(約 877 億美元)將注入一系列方案，目標是在 2050 年前讓整個歐盟達到氣候中和。

許多成衣品牌都承諾企圖心強的環保目標，因為，突然之間，他們有了時不我與的感覺。

政綱的一個要件是，在 2008 年 11 月公布的廢棄物架構方針(Waste Framework Directive)下，2025 年前歐盟將實施強制性分開回收廢棄衣物。現在急需回收或再使用這些額外廢棄物的解決方案，方針裡有一部分是製造商延伸責任制(extended producer responsibility, EPR)，預期品牌與產業要為紡織廢棄物負責。

EPR 已引入法國，並於 2022 年 1 月在瑞典實施。其他歐盟國家則在考慮類似的全國性機制。

#### 法國的 EPR

法國巴黎非營利組織 Refashion 的循環經濟總監 Maud Hardy，在大會中介紹 EPR 機制在法國實施的現況。紡織品與鞋類的 EPR 機制自 2008 年在法國就位，Refashion 於同年成立，以管理這項機制。這個組織由法國當局認證，由 29 家製造商與 3 個產業聯盟組成管理層。

Refashion 的使命是朝向 100%的循環時尚產業邁進，集合所有利害關係人以發展出：

- 環保設計
- 再使用
- 回收再生

優先考量為：

- 重新思考生產
- 重新形塑消費
- 重新評估廢棄物

2020 年這個機制有 4,096 個成員，總計付出 3,600 萬歐元(約 4,100 萬美元)給 Refashion。其中：

- 1,700 萬歐元付給執行分類的組織
- 400 萬歐元付給在地社區計畫
- 將近 100 萬歐元付給研發計畫

品牌於 2020 年在法國市場投入超過 51.7 萬噸紡織成品，回收 20.4 萬噸廢棄產品，回收率約 39%，自 2013 年的 27% 上升。由此看來此一機制有發生作用。

未來 Refashion 將聚焦於回收再生，長期目標是讓利害關係人變得完全自治與「100%循環」。

Hardy 認為再使用的相關重要性會下降，回收再生的重要性則必須上升。回收愈多廢棄物，再使用的量就會愈少。

因此，必須在歐洲打造一個有利潤的回收再生產業。最重要的是，要在回收家數與回收數量增加之前就打造完成。

Hardy 強調，歐盟的廢棄成衣問題必須解決，因為目前回收再使用的衣物大多輸出至非洲，回收再生的則多輸往亞洲。

她的結論是，最關鍵的目的是要大量投資，以開發出在歐洲本地產業化與有利可圖的回收再生解決之道。

## 環保設計

商品對環境的衝擊有大約 80% 在設計的階段就決定了。因此企業應當在設計過程就著眼於延長產品生命，減少碳排量與廢棄物，並改善整體的循環性。

有鑑於此，並且為了有助回收再生，很可能一些不鼓勵混合某些材質的「環保設計」會被引進歐洲。這對製造商是很大的挑戰，因為大部分成衣用布料是使用混紡纖維，以現行的機械式回收再生過程是很難分隔開來的。

這些混紡材質包括合成纖維與纖維素纖維的混紡，例如聚酯或聚醯胺與棉或萊賽爾(lyocell)。如果包含 Lycra 之類的彈性纖維就更困難了，特別是在針織品上很常見。

為了因應歐盟廢棄物架構方針的新要求，一系列新的再生纖維正在開發中，尤其是在北歐。

### **RENEWCELL：CIRCULOSE 纖維**

位於瑞典斯德哥爾摩的 Renewcell 公司致力和一些大品牌包括 H&M、Inditex、開雲集團(Kering)及 Levi Strauss&Co 聯手發展新的纖維 Circulose，並計劃在瑞典建立一座回收再生工廠，每年生產 6 萬噸的 Circulose 纖維。

該公司的成長執行長 Harald Cavalli-Björkman 在 Dornbirn-GFC 提出的論文中表示，新纖維要成功的四個關鍵是：

- 纖維、布料及成衣生產過程中大幅降低溫室氣體的排放
- 品質等同或超越原生棉花或黏液纖維
- 價格相同
- 能大規模生產

為了製造 Circulose，含棉量高的廢棄布料經過一個專利的紙漿生產製程重新利用。首先，送入的廢布料以水分解形成類似浮懸液的混合物。其次，去除混合物的顏色，將混合物乾燥，提取出多餘水分，剩下的是薄薄一層的 Circulose，再轉化成新的黏液纖維。

論文中觀察到，現行的回收再生過程中，沒有可以將使用過的紡織品再生成為紡織品的，而時尚業現在就需要一個解決方法。品牌決定要製造、推出甚麼產品，因此會感受到壓力。它們設下企圖心大的永續目標，像 Renewcell 這樣的公司就在供應鏈上致力於協助品牌信守承諾。

Cavalli-Björkman 強調 Circulose 的製程依賴紙漿造紙產業的經驗，Renewcell 從其中汲取知識、技術及交易技巧，以「消除風險並更快地達到規模化」。

他說：「Renewcell 利用現有紙漿造紙產業的價值鏈，並使用其基礎設備。我們正在蓋的新工廠所在的 SCA 舊廠址，曾是印刷用紙生產所在，Renewcell 就是以該廠的原有技術與人力來建立新的纖維素纖維製程。」(註：SCA 係位於瑞典斯德哥爾摩的全球領導性衛生與森林產品公司。)

Cavalli-Björkman 指出，這類轉型也發生在別的產業，尤其是汽車產業，正在經歷過渡到電動車的過程。他並表示，如果現有資產可以在新的產品供應鏈上派上用場，就千萬不要棄之不顧。

### **INFINITED FIBER COMPANY：INFINNA 纖維**

成立於 2016 年位於芬蘭 Espoo 的 Infinited Fiber Company，開發出一種製程，將纖維素含量高的布料轉化成生質性纖維素胺基甲酸酯纖維，外觀與手感都等同棉纖維。這種纖維的品牌是 Infinna，據稱品質甚高。

該公司執行長 Petri Alava 在 Dornbirn-GFC 中解釋這個製程可以使用在任何纖維素含量高的原料上，包括丟棄的紡織品，甚至於稻稈與小麥稈，還包括用過的厚紙板，由於網購的興盛，廢棄厚紙板量暴增。

Infinna 纖維用途廣泛，也適用於多種紡紗系統。

Infinited Fiber Company 已經宣布與領導性時尚與紡織品牌的合作，包括 Bestseller、H&M、Patagonia，並於 2021 年 4 月宣布計劃在芬蘭建立一座工廠，預計在 2024 年前運轉，產能為每年 3 萬噸的 Infinna 纖維。

為加快 Infinna 纖維的生產，該公司現在將技術授權給一些世界領導級大咖，同時正在穩定數量與價格。

### **SPINNOVA：SPINNOVA 纖維**

芬蘭的新創公司 Spinnova 則對纖維素纖維採取不同的手法。

該公司是 Spinnova 纖維的開發者，這種纖維採用的製程不會使用任何「化學溶解方法」。

創立於 2015 年 1 月的 Spinnova 是芬蘭研究機構 VTT Technical Research Center of Finland 的衍生公司，於 2019 年建立第一座實驗工廠，2020 年成為赫爾辛基的上市公司。



Spinnova 纖維的製程據稱使用無害的化學物，比棉纖維的製程消耗的水量減少 99%，同時排放極少的二氧化碳量。此外，可以快速地生物分解，並且不含微塑膠。

製造這種纖維的原料可以是木頭、廢棄紡織品或皮革，並且製程中不需要溶解木漿，因為它是以機械式碾碎的方式製漿。因此，這是採用乾式紡絲的製程，不需經過水洗的過程。(註：溶解木漿亦稱為溶解纖維素，是將高纖維素含量的木漿或棉絨溶解，形成同質溶液，可用來紡成纖維。)

初級原纖，亦稱為微纖維，是經由使用專利紡絲嘴的製造過程製成，水分會蒸發掉。

Spinnova 公司與 Suzano 公司搭檔在芬蘭建立一座商業規模的工廠以生產尤加利樹木漿製成的纖維。位於巴西聖保羅的 Suzano 公司是全球最大的尤加利木材生產商。這個合作計畫名為 Woodspin，產出的纖維預計在 2022 年上市。

Spinnova 也和擁有著名 Ecco 鞋牌的芬蘭 KT Trading 公司合資成立 Respin 公司，正在建立一座使用廢棄皮革的工廠。不過這座工廠可能轉為使用紡織廢棄物。

## STORA ENSO

Stora Enso 是瑞典一家老牌的包裝與紙品製造商，正在為新的纖維素紙漿產品探索各種應用領域。

該公司與瑞典 H&M 集團、荷蘭 Inter IKEA 集團及瑞典 LSCS Invest 的合資計畫稱為 TreeToTextile，始於 2014 年。(註：Inter IKEA 集團係擁有開發、製造及供應 IKEA 產品與概念的集團。)

2021 年 2 月 TreeToTextile 宣布計劃投資 3,500 萬歐元在 Stora Enso 現存廠址建立一座示範工廠，採用新的溶解木漿紡絲製程，以商業化規模生產再生纖維素纖維。這個製程的設計對能源與化學品的需求很低，並包含一個回復系統讓化學品可被再利用。此外，這個製程也被建造成適合大規模的生產。工廠目前正在建造中，完工後新纖維的產能為每年 1,500 噸。

在 Dornbirn-GFC 大會的論文中，Store Enso 生物材料部門副總裁指出，Stora Enso 的森林每年為大氣層消除 150 萬噸二氧化碳，該公司用於建築與營造的耐久產品更封存了 260 萬噸的二氧化碳。

該公司還生產化石材料的取代物，以及 TreeToTextile 產出的纖維。使用這些產品每年減少了 1,790 萬噸的二氧化碳排放量，這是使用環保原料與環保製程的綜合結果。(註：化石材料係指來自石化原料的材質，相對的生質性材料則是以植物性來源，例如澱粉與纖維素製成。)

整體而言，Store Enso 的運作對環境有高度正面影響，雖然其價值鏈碳排放(亦即該公司產品製造從原料到產品出廠所有階段產生的排放量)達到 1,050 萬噸，整體的碳足跡則是淨負碳排 1,150 萬噸。

未來該公司計劃：

- 開創更多的產品，能更長久封存更大量的碳
- 創新新產品以達到「以少產多」

2020 年 Stora Enso 的銷售額達 86 億歐元，2021 上半年則為 49 億歐元。2020 年其稅息前利潤為 6.5 億歐元，2021 上半年則為 6.92 億歐元，意味著 2020 年的動盪並未過度影響該公司。

Store Enso 有六個部門，分別為：

- 生質材料
- 森林
- 包裝材料
- 包裝解決方案
- 紙業
- 木材產品

傳統上生財的部門是森林、紙業、木材產品，但其餘三個部門也被視為深具成長空間。

Stora Enso 一直在建立一個創新網絡，聚焦在生質材料。網絡內容是從無到有，包含：

- 兩個研發中心，成立於 2015 年，分別為「生質材料創新中心」與「包裝創新中心」
- 廣設的實驗室
- 三個實驗工廠，最新的一個於 2021 年 7 月運轉

Stora Enso 在環保纖維包裝材料上早享盛名，譬如 PureFiber 製成的纖維產品，是由再生材質製成，可以回收再生，不含塑料，不含全氟碳化物(PFAs)，且相較於市場上的類似產品碳足跡大幅降低，因此有助對抗氣候暖化。

在生質材料方面，源自森林的木質素被選來應用於諸如：

- 儲存能源的陽極材料
- 生質黏合劑
- 新的碳纖維

木質素是一類複雜的有機聚合物，在大多數植物的支撐組織中形成重要的結構成分。木質素在細胞壁的形成中特別重要，特別是在木材和樹皮中，因為它們賦予硬度並且不容易腐爛。

Stora Enso 冀望由於電動車的普及，能帶動對陽極材料需求十倍的成長。一座位於芬蘭製造 Lignode 的工廠正在快速提升產能中。Lignode 是以木質素製成的一種硬碳材料，被視為是鋰離子電池裡石墨碳(球形石墨)的生質性取代物。Stora Enso 目標在於以木質素產品取代鋰離子電池裡採自石墨礦的石墨碳。

木質素也和交聯劑(cross-linker)共同用於製造一種新的生質黏合劑，名為 NeoLigno，在絕緣與鋪設地面上有廣泛的用途。它也用於形成一種碳纖維前體材料的基底，Stora Enso 正與德國的 Cordenka 公司合資開發這種前體材料。Cordenka 公司專門製造高強度的纖維素人造纖維。

### **LENZING 與 SÖDRA：ONCEMORE 木漿**

OnceMore 木漿是以消費後紡織廢棄物製成的材料，由奧地利 Lenzing(蘭精)集團與瑞典木漿製造商 Södra 聯合開發。兩家公司的目標在於擴充位於瑞典 Växjö 工廠的產能，以便在 2025 年前能達到每年再處理 25,000 噸的紡織廢棄物。

一旦達到產能，OnceMore 木漿將被用於作為蘭精集團特殊技術品牌纖維 Tencel x Refibra 的生產原料。

### **RISE 2021 (改造織物的研究、創新及科學會議)**

這個會議有七大主題會議，分別為：

- 政府/非政府組織挑戰一次性塑膠用品

- 擴增不織布產業的循環性
- 機器學習輔助開發生物聚合物作為不織布的應用
- 不織布的材料創新
- 環保不織布的材料科學發展
- 不織布的製程創新
- 不織布的創新展望

### **FIBER INNOVATION TECHNOLOGY：不織布用的生物聚合物**

Fiber Innovation Technology(FIT)公司的研發副總裁 Jeff Dugan 在會議中概述不織布用的生物聚合物，以及釐清各種聚合物的不同特性。

FIT 公司成立於 1996 年，是位於美國田納西州的顧問公司，聚焦於新纖維的開發與生產小量的特種纖維。該公司多年前開始研究聚乳酸(PLA)纖維時，就涉入生物聚合物的開發。

Dugan 解釋，「綠色產品」這個統稱，其實包含很多不同的內容。例如，這個名詞可能用來描述對減少碳足跡，或避免在產品使用壽命終了時送到掩埋場或焚化爐的必要。同樣地，也可能是對下列生態議題的回應作為：

- 微塑膠、海洋塑膠垃圾、環境有害物質
- 有限資源的消耗
- 資源安全性(係指人類保證提供所有人自然資源的能力。由於人口增加、經濟成長及人口老化，資源的獲取經常處於壓力下。)
- 社會公正(可有數項定義：對直接或以契約方式服務公眾的制度公平、公正與平等的管理；對公眾服務或執行公共政策公平與平等的分配；對公共政策的形成承諾促進公平、正義及平等。)

尋求解決上述任一議題，往往引起別處的反響，因此需要在一開始就定義出對單一產品的最大期望。

Dugan 表示，生物聚合物可生物分解，並且以植物製成，似乎很理想。但在現實中，作物是在有害化學物的幫助下成長，植物生長與製造聚合物時又需要燃燒化石燃料。因此，「零碳足跡」是無法真正達到的。

雖然如此，產品本身的碳足跡是可能接近零，根據搖籃到搖籃(cradle-to-cradle)的分析，也揭露生物聚合物產品的碳足跡是低於石油性產品。因此，許多人認為可生物分解的生物聚合物的「循環潛力」是合乎理想的。

不過，耐久的生物聚合物則無法生物分解，仍然會終結在掩埋場或海洋裡。

Dugan 將聚合物分成四大基本類別：

- 源自石油碳氫化合物的傳統聚合物，無法生物分解
- 源自石油碳氫化合物的傳統聚合物，可生物分解
- 生質來源的聚合物，無法生物分解
- 生質來源的聚合物，可生物分解

最知名的可生物分解生物聚合物是聚乳酸(PLA)，已經發展得相當成熟，價格也相對地低。隨著未來產能增加，PLA 的價格還可能更低。PLA 已經成功應用在一系列的範圍，目前是需求超過供給。

PLA 有數項優點，包括：

- 可以在和處理聚丙烯(PP)類似的溫度下處理
- 熔點是 167°C，雖然變種的纖維熔點會更低。

PLA 的其他特性包括：

- 天然的阻燃性
- 高韌性
- 良好的強度
- 出色的抗紫外線能力

PLA 是眾所周知可生物分解的聚合物，但只有在工業級的堆肥條件下才能生物分解。此外，因為它對水解作用很敏感，所以不適合炎熱與潮溼的環境。

PHAs(聚羥基脂肪酸酯)形成一類生質性可生物分解的生物聚合物，開發已有一段時間，相當具有潛能。

總部位於美國喬治亞州的生物聚合物製造商 Danimer Scientific 在 2020 年前推出支化聚合物(branched polymer)，可以克服一些製造時的困難，消除發展的阻礙。

這類纖維可在 100-180°C 的溫度範圍內作業，和 PLA 不同的是，它們既可生物分解，也可在海洋裡分解。因此，對於它們在某些應用上的耐用性有些疑慮。不過，Danimer 公司的技術商業化副總裁 Michael Mang 在會議中介紹產品 Nodax PHA 時指出，PHAs 產品需要環境裡有細菌活動才能生物分解。

PHAs 可以一系列的原料製造，包括廢棄的植物或野草，在實驗室裡也曾經以二氧化碳製造。

Mang 提到的其他生物聚合物包括 PBD(聚丁二烯), PBS(聚丁二酸丁二醇酯), PBSA(脂肪族共聚物)，這些因為它們的琥珀酸單元結構分子，都屬於部分生質性的聚合物。

這些生物聚合物的熔點分別是 80°C、115°C、93°C。它們具有的機械性能類似於聚丙烯(PP)與聚乙烯(PE)。

聚乙醇酸(PGA)具水溶解的有趣特性，並且是 100%生質性。PGA 的熔點是 230°C，可用來製造耐用產品。不過，其供應非常有限。

聚對苯二甲酸丙二醇酯(PTT)的生質部分占 27.3%，其性能類似聚對苯二甲酸乙二酯(PET)聚酯，具有良好韌性，適合製作地毯。

Bio-PET(生質性 PET)的熔點為 255°C，類似傳統 PET 聚酯的 260°C 熔點，因此適合在現有工廠內處理。不過，其價格昂貴，供應數量也有限，同時也無法增加供應，因為可口可樂的 PlantBottle(植物性塑料瓶)正在為飲料瓶擴大產量，並從最初的 20%生質性過渡到 100%生質性。因此在可見的未來，任何 bio-PET 的增加供應量都可能用來製造可口可樂的 PlantBottle。

Dugan 在會議中表示，長期來看，bio-PET 可能被聚乙酸呋喃酯(PEF)所取代。PEF 是 100%生質性，熔點是 230°C。

PEF 在製造瓶身時的主要優點是其改良的防潮層，可口可樂正投入鉅資發展此產品。此外，生產 PEF 無需額外增加基本設備，只要改變原料就可在現行的 PET 工廠內生產，也可在現行的 PET 回收方式下回收再生。

生產 PEF 的最初製程非常昂貴，但是瑞士聯邦技術學院(ETH Zurich)開發的一種新的處理方法可以補救這個缺點。ETH Zurich 是位於蘇黎世的公立研究大學，專注於科學、技術、工程與數學的研究。

PEF 初期將是為製造飲料瓶身而生產，但產量擴張之後可能應用於不織布與紡織品。



## DANIMER SCIENTIFIC：NODAX

Danimer Scientific 公司生產的 Nodax，是一種 PHA(聚羥基脂肪酸酯)脂肪族聚酯聚合物，是以可再生的生物質例如蔬菜油或糖，經過細菌發酵製成的。Nodax 這種 PHA 纖維屬於生質性，並且可生物分解。

Nodax 最初是跨國消費品企業 P&G(寶僑)公司開發的，是具有許多優點的新聚合物，尤其可用於製造不織布產品。

Danimer 公司副總裁 Michael Mang 在會議中說明，Nodax 在有氧與厭氧的狀況下都會迅速生物分解，並且：

- 在延展性、伸縮性、彈性、強度、韌度等方面具有類似聚烯烴(polyolefin)的熱機械性質
- 在聚合物混紡時，在與助劑及其他纖維的相容性方面，具有與聚酯類似的物理性質

Nodax 具有共聚物(copolymer)中等鏈長的支化結構供強化性能，以及下列特性：

- 較其他 PHAs 為低的熔點
- 最小的熱降解反應
- 良好的融化黏度
- 擠製過程易於控制

Nodax 的特性可以為特定用途調整，從非常柔軟的薄膜到堅硬的用具與瓶子，可以藉著改變其共聚單體(comonomer)內容來達成。

採用類似紡 PP 纖維的方式，恰當混合的 Nodax 聚合物可以紡成纖維。以此方式使用 Nodax 聚合物紡出的纖維可以用於製造可完全分解與可海洋分解的不織布產品。這方面的發展 Danimer 公司正與未透露的重要夥伴一起進行中。

Nodax 可以在一個價格範圍內生產，這可以和石油基底的聚合物競爭，原因是：

- 選擇便宜、有效率及在地的碳源譬如來自冬季芥花的蔬菜油，是明智的行為
- 一種高產量的微生物最近被發現
- 細菌發酵技術持續躍進

2021 年 3 月 Danimer Scientific 公司宣布，將提案的位於美國喬治亞州的新 Nodax 工廠產能翻倍，從生產 1.25 億磅提升到 2.5 億磅(113,398 噸)的成品。此外，以宣布當時的需求程度估計，預期產能將全部售罄。

該工廠將分兩階段投入生產。最先的三個發酵槽預期在 2023 年中運轉，接著的三個在 2024 年初運轉。

Danimer 於 2020 年的銷售額成長 46% 達到 4,730 萬美元，背後的推動力是：

- 更強的需求
- 其位於美國肯塔基州工廠生產的 PHA 產能增加，這座工廠是在 2020 年初開始投入生產的。

### **PROCTER & GAMBLE(P&G)：閉環式回收再生的一次性口罩**

美國 P&G 公司的研發部開放創新主任 Peter Dziezok 在 RISE 會議中提供了該公司一個循環經濟實驗計畫的細節，該計畫旨在證明一次性口罩採閉環式回收再生的可行性。

該計畫是 P&G 與下列兩者合作進行的：

- 位於德國 Oberhausen 的 Fraunhofer UMSICHT(弗勞恩霍夫環境、安全暨能源技術研究中心)
- 總部位於沙烏地阿拉伯利雅德的 SABIC(沙烏地基礎工業公司)

自從新冠疫情以來，已有數十億的一次性口罩被使用與處置，引起對環境的關注，尤其有許多是丟棄在公共空間。

處理這麼大量的基本個人衛生用品是極大的挑戰。僅僅是丟棄這些口罩在掩埋場處置它們或送進焚化爐，就代表了失去將珍貴的原料用於製造新材料的機會。

P&G 的實驗計畫有一部分是在該公司位於德國的製造與研究場所，回收員工或是給予訪客使用過的口罩。

設置專門的回收桶來集中口罩，再送往 Fraunhofer UMSICHT，在一間研究專用的高溫分解工廠進一步處理。口罩先經自動化切碎，然後再經熱化學方式高溫分解轉變成裂解油。高溫分解讓塑膠在壓力與熱能下分解為分子碎片，也會破壞任何殘餘污染物與病原菌。使用這種方法生產出的原料，可製成品質媲美原生塑膠並符合醫學產品規定的新塑膠。(註：裂解油也稱為生物原油或生物油，是一種合成燃料，正受到調查能否用於取代石油。產生的方法是在反應器裡約 500°C 的溫度下，無氧加熱乾燥的生物質，接著再冷卻而成。)



裂解油再送往德國的 SABIC，用來作為生產新的 PP 聚合物的原料。聚合物採用公認的質量平衡方法生產，在製程中結合取代性原料與化石原料。質量平衡方法被認為是今日大規模線性經濟，與比較環保的循環經濟之間至關緊要的橋樑，循環經濟的運作規模較小，但預期會迅速成長，成為未來的經濟模式。(註：質量平衡方法追蹤材料在價值鏈上的流向。一般而言，化學回收再生的原料與生質性原料在製造產品時會和其他原料混合，因此將廢棄物實體分隔出回收再生或生質性原料，在實務上與經濟上往往不可行。質量平衡方法可以在價值鏈上追蹤回收再生和/及生質性原料的用量，並以可核實的記錄方式將之分別歸屬。)

在循環末端生產出來的 PP 聚合物用以供應 P&G，再製成不織布纖維。

計畫至今的成果很令人鼓舞，但 Dziezok 認為還需要進一步的努力。

### **EASTMAN：METHANOLYSIS(甲醇分解)**

Eastman 公司計畫在其位於美國田納西州 Kingsport 的廠址建立一座世界屬二的塑膠-塑膠分子回收再生工廠。

這項計畫是在 2021 年 1 月宣布的，預計在 2022 年完成新設施的建造。工廠將使用回收再生原料生產頂尖品質的特殊塑膠。特別是該公司將使用甲醇分解的方法(屬於分子回收再生的方法)，來轉化一年超過 10 萬噸的塑膠廢棄物，這些塑膠廢棄物使用現有的機械式方法無法回收再生成為新的特殊塑膠。

Eastman 紡織與不織布總經理 Jon Woods 在 RISE 會議中表示，該公司投資大約 2.5 億美元建造 Kingsport 的甲醇分解設施。

Woods 表示，Eastman 使用塑膠廢棄物作為主要原料是「道道地地的原料-原料」解決方案，可以減少該公司使用的化石原料，並且和使用化石原料的製程相較，可降低 20-30%的溫室氣體排放。

Eastman 已經成為將甲醇分解技術商業規模化的先鋒，並且在使用這項回收再生製程方面具有超過三十年的專長。

聚酯再生據稱是一項「特別有影響力的解決方案」，因為低品質的聚酯廢棄物如果未經機械式回收再生，通常會送到掩埋場或焚化爐或進入環境內，現在則可再生成為高品質的聚酯，適用於一系列的終端用途。

處理全球的塑膠廢棄物問題需要結合機械式回收再生與分子回收再生方法。

機械式回收再生有其限制，因為它需要純粹的輸入物，通常是由單一聚合物組成的產品；分子回收再生則是關於將產品回復到其分子建構組元，再重組成為新產品。因此，分子回收再生具有無限再生價值的潛能。

Eastman 一項大計畫是在 2030 年前使用分子回收再生技術每年回收再生 25 萬噸塑膠廢棄物，Kingsport 工廠是這項計畫主要的部分。

在這項計畫之前，該公司已承諾 2025 年前達到每年回收再生 12.5 萬噸塑膠廢棄物，並和 P&G 公司協議進一步加速塑膠包裝的轉型，並合作開發循環回收再生解決之道。

### 紡織品永續加工會議

品牌們都表示喜歡使用這些發展中的環保新纖維，因為有助它們將產品行銷給消費者。不過，如果這些擁有環保優勢的纖維仍然使用傳統的加工技術來處理，尤其是染整加工的部分，那麼所有優勢就消失了。因此，品牌不僅需要注意產品的原料，還要注意產品是如何製成的。

在「紡織品永續加工會議」中，有一些論文描述出數個用於染整的「極簡應用數位技術」(此處指的是採用噴灑或塗敷的染整方式，取代將布料完全浸泡於染缸中)，大多是在北歐地區發展出來的，該地區也正在開發新的環保纖維。

### IMOGO：DYE-MAX 噴染生產線

Imogo 是瑞典一家創新公司，專注於以紡織業為主的環保生產製程。其宗旨在於「為紡織業開發環保解決方案，致力於解決當代最緊急的挑戰-氣候變遷」。

該公司開發出四種關鍵技術：

- FlexDyer
- Dye-Max
- F-Max
- Mini-Max

## Dye-Max

Dye-Max 是一種噴染系統，和傳統的噴染系統相比，具有減少高達 90%化學物、能源及水的消耗量與廢水排放量的潛能。

第一個工業規模級的 Dye-Max 生產線於 2021 年 2 月安裝於位於瑞典 Borås 的一座工廠。

這個生產線的噴染系統由一個密閉箱內含一系列的噴匣，配備有精密噴嘴，連同專利的閥門來控制噴出量，以達到準確一致的覆蓋效果。

## BALDWIN：TEXCOAT G4 無接觸噴霧技術

Baldwin Technology(Baldwin)公司位於美國密蘇里州聖路易市，開發出名為 TexCoat G4 的技術，能大幅降低加工過程中水、化學物及能源的消耗量。

這項技術採用非接觸式的噴霧系統，將化學物均勻一致噴在布料表面，並且只噴在單面或雙面需要的地方。

使用這項技術的優點有：

- 加工過程中沒有液槽污染的風險
- 由於配方管理系統讓批次更換變得容易，因而更換批次時達到最少的停機時間

Baldwin 的全球事業發展部門副總裁 Rick Stanford 在會議中表示，TexCoat G4 在更換顏色、布料或化學物時不會有化學廢棄物，因為它是自動選擇化學物與噴覆的範圍。

自動化的結果是：

- 化學物只有需要的量會被用於布料上
- 紡織品吸液率可以降低 50%
- 與傳統加工過程相比，水與能源消耗量可以減少達 50%

有數家客戶在拉幅機之前的階段結合 TexCoat 與布背塗層，如此將生產製程自兩步驟簡化成一步驟，節省乾燥的時間並增加生產力。

## COLOREEL：紡織用線依需求立即上色

Coloreel 提供一種上色技術，無需調整即可搭配任何現有的刺繡機，並可以依需求(on demand)立即迅速讓紡織用線上色，達到高品質標準。

這種技術也讓刺繡首次能達到一些譬如明暗與漸層的效果。技術是以 CMYK 四色印刷系統為基礎，使用 Coloreel 先進的快速上色軟體與高速傳動，讓單一針頭就能執行以往需要多個針頭執行的作業。此外，執行結果具有更一致的針繡品質。(註：CMYK 是青、洋紅、黃、黑四色的簡稱，是大多數數位彩色列印機使用的油墨色彩。)

還有，Coloreel 提供使用者完全的自由，在使用色彩方面沒有限制，可創造出獨一無二的刺繡。這是因為它在製造產品時可以立即為白底的線上上色，現行的染線工廠只能在一種線上加上單一的素色。

線上的色彩轉變可以迅速從一個素色轉變成另一個素色，或是逐漸平順地變化，或是任何希望的色彩效果。

如此能提供許多好處。特別是，可以大量減少廢棄油墨，使用最少的水量，並加快生產速度。

這項技術可以縮減安裝與出貨期，在產量方面提供很多彈性，並去除大量用線存貨的必要性。

### **ALCHEMIE TECHNOLOGY：ENDEAVOUR 智慧型無水染色技術**

Alchemie Technology 公司的 Endeavour 智慧型無水染色技術讓布廠不會產生污染的廢水，並大幅減少染色過程的碳足跡。

這個無水的製程可以達到高度的色彩一致性與色彩牢度，並且不需要染色後的洗滌步驟。

這個製程可以產生任何需要的顏色，並可在從數公尺到數公里的任何染程長度後進行數位色彩更換。

這個製程將染料分子深置於布料中，因此有助於：

- 高度的染料吸收性
- 同質性染料的分布
- 優良的固色效率

據稱如此可將水洗需求降至最低，即使染料的滲透率非常高。

## **DYECOO：無水無化學物超臨界二氧化碳染色技術**

荷蘭 Dyecoo 開發了一種專染聚酯纖維的無水無化學物的超臨界二氧化碳染色技術。業界並且已經有在孟加拉、歐盟、印度、南韓及土耳其採用此一技術的新計畫。

此技術採用全球唯一真正無水染色系統。主要品牌皆已採用此項技術。Dyecoo 的亞洲總經理 Kasper Nossent 在會議裡發表的論文指出，現在大品牌對此項技術有更大的投入，這是「公司在發展此項深具潛能的顛覆性技術十二年旅程後的完美結果」。

他說：「許多品牌在未來五至十年間會面對其永續路徑圖的結束點，因此供應商投資在新的環保技術上，可以從品牌獲得數量方面的承諾，也可開展自己的商業契機。」

Dyecoo 於 2010 年首度於泰國宣布其 DyeOx 系統的原型。之後該公司在泰國的 Yeh Group 集團安裝三座機器，在臺灣安裝八座機器，其中四座在利勤實業，兩座在遠東新世紀，一座在福懋興業，一座在儒鴻。

在越南胡志明市 CleanDye 公司安裝的 Dyecoo DyeOx 系統於 2019 年開工，是用來證明效果的示範工廠，一天的加工產能是 10 噸布料。現在機器已經發展到第四代，但是是 100% 使用二氧化碳的工廠。相較於傳統以水為主的浸染系統，單一座第四代的 DyeOx4 機器已經證明每年可節省用水 3,360 萬公升，168 噸化學物，以及大量的能源。此外，這個染色過程安全無毒，並且在 2021 年 9 月全球有部分地區開始缺乏二氧化碳之前，這個氣體是便宜而豐富的。

Dyecoo 的染色過程無需添加染色助劑(通常是化學物)就能自然溶解純染料。同時，在世界任何地方使用這個染程都能達到相同品質，與 100% 的批次染色一致性。此外，無需改變或調整機器，就可用來染紗與布料。

DyeOx4 機器每天可處理 3.0-3.5 噸的紗或布，計算基準是每批次布寬最多 2 公尺，紗重量則是 160 公斤，平均一天處理 20-22 批次。

Nossent 認為聚酯纖維未來多年仍將是紡織工業的支柱，因為便宜、在任何地方都可製造、應用的範圍無限。除了會影響染色時間外，聚酯纖維的結構對這個染色方式沒有影響。

該公司的新計畫是應用在汽車與鞋類產業上。



## **GREEN THEME TECHNOLOGIES：EMPEL 無水紡織加工製程**

位於美國新墨西哥州的 Green Theme Technologies 公司提供名為 Empel 的無水紡織加工製程，使用安全的化學物，並且不會排放汙水。

這個製程以碳氫單體為基礎，並使用氮氣來封裝每一根單獨的纖維。

在製程中，單體被轉換成強化性能的聚合物，和纖維形成共價鍵。因為這種加工是以機械壓力與熱能附著上去，幾乎不需要用到化學物。Empel 製程聚焦在為布料添加耐久撥水性能的加工。

該公司也開發出名為 Ecolor 的新系統，跨入染色階段。Ecolor 是無水處理，染色週期較傳統浴染方式的時間減少 35%，使用的能源也較少。

該公司創辦人 Martin Flora 在會議中強調，在宣揚這類技術時，需要清楚的溝通，應該傳達基本訊息給消費者。如果訊息太過技術面，消費者會抓不到重點。因此該公司使用簡單的口號：每個人都需要水。

Green Theme Technologies 現在和一些主要品牌合作，包括 Kering(開雲集團)與 Walmart。

## **ADPHOS GROUP：近紅外線乾燥技術**

在布料上應用較小量的染料與加工，並以比傳統使用染缸來染布的方式更精準地應用，顯然在使布料乾燥時所需的能源消耗量上會大有不同。

德國 adphos 集團則更進一步，其 adphosNIR 近紅外線乾燥技術能讓纖維、紗、網及布料在染色或塗層後接近即時的乾燥。

這樣的技術自然可以和許多染整技術的新開發者洽談合作。

## **結論**

紡織成衣業的主管們很難自永續的觀點來假設某種纖維比另一種好，因為最起碼從纖維製成布料、成衣及其他紡織成品的過程有同樣的重要性。

例如，如果布料、成衣及其他紡織成品的製程使用的仍是火力發電，而不是

來自綠色電力，留下的環保足跡會大不相同。

即使紡織成品使用的是號稱的環保纖維，但製造過程仍可能和使用一般纖維的過程一樣，在某些情況下甚至可能使用更多化學物，因為可能需要額外的加工處理。

使用替代性纖維是一個好的開始。但還是需要考量紡織品或紡織成品的整個生命週期。

品牌現在更加注意它們的供應鏈，以及整體期間所使用的原料與製程。

要達到永續性，品牌必須做出需要的投資決策，以確保本文內許多企業創新的原料與技術能繼續發展並應用。