

紡織業循環永續新解-用酵素分解紡織品

Tnet 全球紡織資訊網

長期以來，全球紡織品在製造及消費後，廢棄物對環境造成污染常遭到詬病。非營利組織 Textile Exchange 於 2023 年 12 月發布的調查報告中顯示，過去 20 年間全球纖維生產量幾乎是倍數成長，從 2000 年的 5800 萬噸，增加至 2022 年的 1.16 億噸，創下歷史新高紀錄，若依目前速度持續發展，預估 2030 年全球纖維總產量將達到 1.47 億噸；全球纖維紡織品消費市場的快速成長，勢必對當今紡織業推動循環永續造成更大的壓力。尤其，Textile Exchange 統計 2022 年全球再生纖維的生產量占有纖維產量比重再度呈現下降趨勢，從 2021 年的 8.5%，下降至 2022 年的 7.9%，其中大多數再生纖維的製造原料還是來自於回收寶特瓶為原料所製造生產，只有不到 1% 是使用來自於紡織品到紡織品的原料生產。

未來若要解決紡織業的永續循環問題，勢必要將再生紡織品的原料範圍擴大到紡織品到紡織品製程，才能有效擴大再生紡織品的產量及回收速度。目前全球紡織品到紡織品的回收技術關注於化學回收製程。主要多採用溶劑(如：甲醇和乙二醇)將聚酯解聚回原始單體乙二醇(MEG)和純對苯二甲酸(PTA)後，再製成新的聚酯紡織品；另一則是為不使用溶劑分解的製程，以「酵素分解」聚酯、尼龍紡織品，同樣可以解聚至原始單體後再製成聚酯、尼龍紡織品，可望讓合成纖維的回收再製進入真正的循環經濟，有效降低環境成本。

一、法國新創企業 Carbios 的酵素分解聚酯纖維重新再製技術

法國新創公司 Carbios 是由 Truffle Capital 在 2011 年成立的綠色生物科技公司，主要致力於開發生物創新製程。Carbios 憑藉獨特的酵素與塑膠結合的方法來應付當今時代的主要挑戰：塑膠和紡織品回收再製，以因應當今消費者對永續環保環境的期待和生態轉型需求。

Carbios 將各類型聚酯塑膠合成物，包括：聚酯瓶、托盤、紡織品等，分解成單體後再聚合並重新使用，生產出與原塑膠品質相當的再製品。Carbios 第一個商業規模的聚酯包裝生物回收廠在 2023 年 10 月於法國 Longlavill 興建完成，佔地 13.7 公頃，毗鄰其戰略合作夥伴 Indorama Ventures 的現有聚酯生產工廠。這項最先進的設施計劃於 2025 年投入使用，可為聚酯廢棄物提供具規模經濟的酵素回收解決方案。Carbios 的聚酯回收技術為原生化石原料提供

替代性再生材料，該廠每年將處理 5 萬噸消費後聚酯廢棄物，相當於回收處理 20 億個有色聚酯瓶，或 25 億個聚酯製食品托盤，這些廢棄物更可轉化為 4.5 萬噸的 PTA 和 MEG，同時將創造 150 個直接和間接就業機會。

針對聚酯紡織品廢棄物處理方面，Carbios 和總部位於泰國的 Indorama Ventures 亦合作開發聚酯紡織品的回收再製生產線，這條自動化生產線位於該公司在 Clermont-Ferrand 的示範工廠，可透過 Carbios 的酵素生物回收製程將舊服裝或邊角廢料再轉化為聚酯原料；該生產線已經整合多項回收製程，包括：撕碎和提取鈕釦、拉鍊和其他扣件等組件。Carbios 表示，這條生產線將幫助公司在 2024~2025 年擴大工廠的聚酯生物回收能力。未來，公司將致力於促進與當地紡織業的收集和分類功能，以便於能充分提供篩選後的可再利用回收紡織品。

目前，全球紡織廢料中只有 13% 被回收，其餘 87% 被掩埋或焚燒，且在紡織品分類和準備基礎設施方面仍相當欠缺，嚴重妨礙紡織品到紡織品的回收發展。全球丟棄後的紡織品平均收集率僅為 15%~20%，大多數廢棄紡織品從西半球運往非洲、亞洲或拉丁美洲進行分類，但大部分最終仍進入垃圾場。Carbios 執行長 Emmanuel Ladent 表示：「紡織品準備將會是回收的重要步驟，沒有紡織品回收、分類解決方案，也就沒有紡織品循環發展。」現代服裝通常由複雜的混紡布料製成。由於分離這些紡織品中的不同纖維相當具有挑戰性，目前大多數紡織品都是手工分類，導致回收後可用的原料量偏低；尤其是相關配件，如鈕釦等雜物的添加使回收過程更加複雜。

至今，Carbios 的回收產線已直接整合到生物回收製程中，可以實現閉鎖循環『纖維到纖維』回收。Carbios 開發此獨特且可持續的技術，系採用其專利酵素，僅會作用於回收紡織品中的聚酯成分。因此可以直接回收混合紡織品，從而減少目前機械回收方法所需的大量分類。雖然，Carbios 是使用酵素來解聚並分離混紡紡織品中的聚酯成分，但在此之前，仍必須將紡織品切碎，並去除鈕釦和拉鍊等配件才能進入解聚階段，生產線目前每小時能夠分離處理 300 公斤紡織品。

為加快紡織品的回收腳步，Carbios 於 2022 年與 On、Patagonia、PUMA 和 Salomon 創立「纖維到纖維聯盟（Fiber-to-Fiber Consortium）。並且在 2023 年 2 月，Calvin Klein 和 Tommy Hilfiger 母公司 PVH Corp. 也加入該聯盟，並規範聯盟成員將會提供回收的流行服裝、內衣、鞋類和運動服產品。目標是在 2024 年實現示範工廠的規模化紡織品生物回收，並計畫在 2025

年開始規範收集歐洲各地紡織品，將強制要求對紡織品廢棄物進行單獨收集，目標是到 2030 年對紡織品實施最低回收含量標準。

二、澳洲新創公司 Samsara Eco 的酵素分解塑膠可無限回收循環技術

澳洲新創公司 Samsara Eco 是由澳洲國立大學（Australian National University）在 2021 年建立的新創公司，命名自印度宗教的生死輪迴，所有生命、物質的無限重生與循環。不到 3 年時間，已經獲得澳洲最大連鎖超市 Woolworths 集團和澳洲最大國家級研究中心「聯邦科學暨工業研究院」（CSIRO）的肯定投資。

傳統的塑膠回收方式，是將塑膠切碎再高熱融化，這種作法面臨很多挑戰，如保鮮膜等軟塑料、彩色塑料難以回收、必須仔細分類、還有降級回收的問題。Samsara Eco 提出的解方是：「吃塑膠」的酵素。其酵素能在一小時內分解塑膠，可重組成不同產品，包括食品級的塑膠等，讓產品生命週期結束後再度重生循環。其製程無須事先分開有色塑膠，因為無論是透明、彩色、多層、聚酯纖維、尼龍、PU（聚氨酯）或混合塑料，皆可以有條件的回收循環再利用，且聚酯和聚酯纖維的再生率可以超過 95%，重新製品品質不變。Samsara Eco 的共同創辦人兼執行長 Paul Riley 表示「Samsara 的再生塑膠在外觀和性能上可以與原生塑膠一樣，並且減少環境成本的產生。」，甚至豪語表示：「我們再也不必用石化等原始素材生產塑膠，更可以減少塑膠進入海洋和掩埋場造成環境污染，讓塑膠正式進入循環經濟時代。」。雖然，Samsara Eco 不是全球第一家用酵素分解塑膠的公司，但 Samsara Eco 其製程可在 1 小時內分解塑膠，較其他酵素分解塑膠的製程約需要 10~12 小時，具有更高效率。

2022 年 Samsara Eco 已經有建造一座試點工廠，產能是每天可以分解 20 噸廢塑膠，隨後在 2023 年建立第一座回收工廠，每年能處理超過 2 萬噸的廢塑膠，主要回收產品為聚酯塑膠（寶特瓶）和聚酯纖維。

在與紡織業永續合作方面，Lululemon 率先與 Samsara Eco 合作，推出首款酵素法回收尼龍 6.6 服裝。Lululemon 的運動休閒服產品採用大量尼龍纖維做為原料，其中 Align 瑜珈服裝系列更採用超過 80% 的尼龍作為主要原料，Lululemon 更希望商品壽命結束後，在不犧牲品質情況下，可以將 Align 瑜珈褲回收，並再製成新的瑜珈褲。為實現這一目標，與 Samsara Eco

合作，使用 Samsara Eco 從終端紡織品中提取尼龍 6.6，並製造出回收再生尼龍纖維，成功開發出世界首款來自紡織廢料的回收尼龍 6.6 Swiftly Tech 長袖上衣樣品。Swiftly 樣品中超過 90% 的尼龍是使用 Samsara Eco 的酵素回收製程所生產，樣品與其他使用原生尼龍 6.6 纖維所生產之服裝具有相同的貼合度、觸感和功能。

三、結論

分析近年來全球再生纖維占比，雖然在 2018~2020 年期間從 7.2% 擴大至 8.1%，但在 2022 年卻下降至 7.9%，在全球纖維生產量呈現成長趨勢的前提下，可以預見的是全球纖維生產若不儘快大幅減少對石化原材料的依賴，將難以實現 2030 年全球溫室氣體減排 45% 的目標。

尤其目前全球再生聚酯纖維的主要料源仍是來自於寶特瓶回收（99%），聚酯系的紡織品到紡織品回收系統仍處於開發階段，佔所有再生聚酯纖維比例仍低於 1%；因此若要再大幅擴大再生聚酯纖維的產量，勢必要擴大紡織品到紡織品的回收再製能力。而法國 Carbios 與澳洲 Samsara Eco 是目前在開發酵素分解聚酯纖維技術方面最早進入規模經濟量產階段的 2 家國際廠商，同時分別已經和多家國際紡織品牌商進行聯盟合作，相信未來在紡織品到紡織品回收體系的影響力指日可待。

(本文作者為紡織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/>