



◎ 石燕鳳

天然可再生補強材—— 植物纖維素

你知道汽車側門板有亞麻纖維、引擎蓋有甘蔗纖維、
萬里長城裡有蘆葦、鄉下土角厝裡有稻稈和粗糠嗎？
素食膠囊裡也有植物纖維素哦！見過透明的紙張嗎？
植物纖維素廣泛應用於汽車、建材、醫藥產業、光電材料產業！



天然植物纖維

天然植物纖維主要由 50 ~ 60 % 的纖維素、20 ~ 30 % 的半纖維素、10 ~ 20 % 的木質素及少量的果膠、蠟等物質所組成。纖維素是世界上最豐富的天然有機物，占植物界碳含量的 50 % 以上，普遍應用於紙板和造紙。

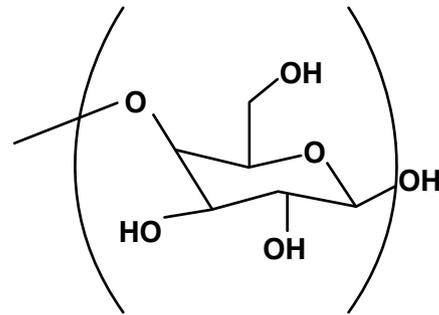
其中纖維素是一個線性多聚醣，由 β -1-4-糖苷鍵所鏈接的 β -D-吡喃葡萄糖單體組成，每個單體上各有 3 個羥基團。因此纖維素在分子內和分子間有強的氫鍵作用力，而纖維素分子有排列十分規則的結晶區與較不規則的非結晶區。

植物纖維的種類很豐富，包括草類，例如稻草、大甲藎、蘆葦等；竹類，台灣栽培的主要竹種包括桂竹、孟宗竹、麻竹、綠竹、烏腳綠竹、巨竹等；韌皮部，包括黃麻、亞麻、大麻、苧麻、鐘麻等；葉脈類，例如瓊麻、鳳梨葉纖維、龍蛇蘭葉纖維等；其他類，包括棉花、椰殼纖維、木質纖維等。

國內近來感受到國際的環保趨勢，為因應全球暖化、氣候變遷及環保趨勢的需求，已積極進行生質材料的各項政策推動與技術研究。由於減碳概念盛行，包括汽車、電子、家電產業也開始注重綠色生質材料，推動生質材料的創新與應用，因此屬於生質材料的植物纖維，其應用與產品研發備受各界矚目。

以植物纖維補強複合材料取代玻璃纖維補強材料，具有以下優點：環境觀點—植物纖維屬可再生資源，生產過程所耗能源低，二氧化碳排放低，丟棄後可堆肥處理；生物觀點—屬天然有機體，與玻璃比較沒有皮膚過敏的問題，丟棄後沒有生物毒性；產品觀點—植物纖維的成形性佳；重量觀點—植物纖維較玻璃纖維輕盈；

纖維素的化學結構



瓊麻

經濟觀點—植物纖維較玻璃便宜，且來源遍布全世界；普遍觀點—植物纖維破裂時不會產生危險的小碎片，且因其中空管狀的結構，所以有絕熱隔音的效果。

而其缺點是高吸水性、熱穩定性差、品質差異度大、機械強度低於人造纖維等。

植物纖維的應用

近年來，植物纖維已經普遍應用在汽車材料中，例如 BMW5 系列的側門板，就是利用植物纖維製成不織布後再與樹脂複合而成。植物纖維複合材料應用於汽車的內外裝，主要驅動力來自於汽車產業輕量化



甘蔗吸管



木塑複合材料

發展的需求，因為植物纖維纖維的密度（約 1.5 g/cm^3 ）遠低於玻璃纖維的密度（約 2.5 g/cm^3 ），所以有輕量省油的優勢。

根據日本汽車工業協會研究，當汽車重量減輕 10%，可降低汽車的油耗量，進而降低 10% 二氧化碳的排放量。克萊斯勒公司研究中心表示，使用天然植物纖維補強複合材料可以減輕 10% 重量，與玻璃纖維補強複合材料比較，更可以減輕 40% 重量，且減少 80% 能源耗費量。與玻璃纖維補強複合材料比較，成本可節省 5% 以上，且不會有二氧化碳生成問題，並對人體健康有益。

福特車廠研發部門的生物材料研究小組也採用天然纖維取代玻璃纖維，透過強度的強化之後，天然纖維可擁有相同於玻璃纖維的功用。且他們評估天然纖維較玻璃纖維有更低的製造成本，重量也更加輕盈，並可降低過去玻璃纖維製造時所產生有毒氣體對人體的傷害。

豐田某車款的引擎蓋材料中則採用甘蔗纖維補強聚丙烯樹脂的蔗渣複合材料，當材料中蔗渣纖維重量達到 40% 時，其彎曲彈性模量比滑石粉填充型聚丙烯樹脂高 10%，重量則減輕了 20%，成本「低兩成」，高頻隔音效果也獲得了好評。因此豐田公司號稱這種以甘蔗纖維取代玻璃纖維的

材料，具有環保、耐熱、輕量、低成本「一舉四得」的功效。目前植物纖維如黃麻、亞麻、大麻、瓊麻、紅麻等已普遍用於汽車組件，如車門壁板、座椅靠背、收納箱、儀表板等。

熱塑性高分子材料，例如石油系的聚乙烯、聚丙烯，或生物可分解的聚乳酸等，因為具有可回收、容易加工與成型，輕量化等優點，因此應用十分廣泛。但是大多數熱塑性高分子材料的機械強度較弱，耐熱性也較差，在實際工業應用上，其強度仍不及金屬或陶瓷，因此需要添加補強劑來增加其機械強度。目前最常使用的補強材料是玻璃纖維，但是玻璃纖維的生產非常耗能，也容易造成環境與健康的問題。

近年來發展低碳、安全的環境友善材料是國際的重要趨勢，而植物纖維是地球含量最豐富的生質材料，由於植物纖維複合材料具有補強、輕量化、低能耗等特色，適合應用於補強各種高分子材料，以增強高分子材料的強度及耐熱性，例如甘蔗吸管、稻殼竹筷、木塑複合材料等產品。其中木塑複合材料已經廣泛取代木材，運用於室內建材或戶外桌椅、木棧道等。與木材相比，木塑複合材料具有耐風雨的特性，因此有較佳的耐候性及不容易腐朽的優點。

由於植物纖維複合材料具有補強、輕量化、低能耗等特色，適合應用於補強各種高分子材料。



添加蘆葦的萬里長城



自古以來，植物纖維就廣泛應用在建築材料中作為補強材，例如在萬里長城中添加蘆葦，或鄉下土角厝裡添加稻稈和粗糠。植物纖維建材在防水、防震、防老化、防裂紋、防蟲蛀等方面，有明顯的優勢，添加這些植物纖維可以避免建材產生裂痕，尤其在低溫冰凍的情況下，可以提高建材的品質及延長建材的壽命。另外，把植物纖維加入建築材料中，不僅可以裝飾牆面，還有降低噪音、隔熱控溫、調節空氣品質、低碳等多種環保功能。

植物纖維也可以應用於醫藥及保健食品的包裝，由於一般的膠囊外殼是由明膠製成，而明膠其實是葷食，是提取動物的膠質製成，例如：魚皮、豬皮、牛皮等，也稱動物膠，因此並不適合素食者食用。

市面上研發以植物性原料製備的素食膠囊，是以由松木或棉花的纖維素提煉而來的「羥丙基甲基纖維素」所製成，是經美國食品藥物管理局認可的「一般安全性原料」，適合素食者食用，素食者無需再把膠囊外殼剪開就可直接食用。與動物膠囊比較，植物膠囊有較低的含水量，適合充填吸溼性強和對水分敏感的原料，可生產植物油類保健食品，如南瓜籽油、月見草油等全植物膠囊產品。

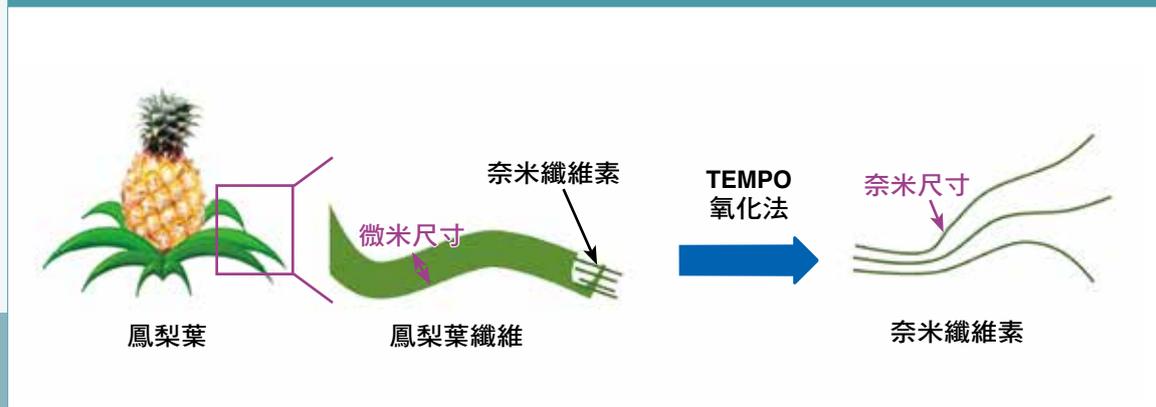


素食膠囊

奈米纖維素

奈米結構的纖維素可由植物中獲取，取得的微米纖維或奈米纖維尺度落在微米及奈米之間。一般而言，奈米化纖維素（cellulose nanofiber, CNF）泛指由 30 ~ 40 條纖維素結合成束的可伸縮直鏈構造，寬

鳳梨葉纖維經由 TEMPO 氧化法製備奈米纖維素



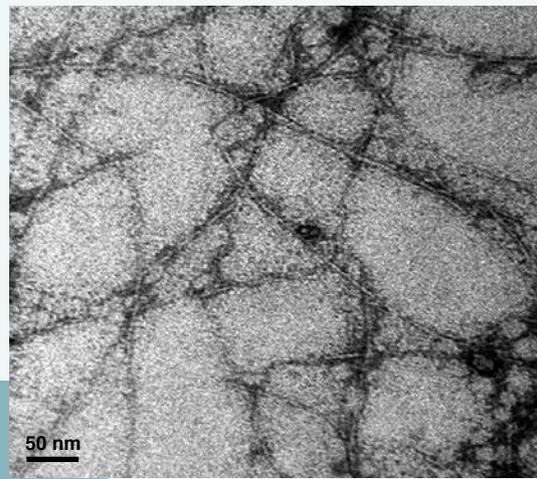
幅是奈米等級，長度是數百奈米～數微米，結晶度 70% 以上的纖維素。

奈米纖維素具有高縱橫比、低密度、高強度 / 剛度、重量輕、熱膨脹率低、溫度變化耐受力強、不易透過氧氣及水分、透光性好、生物可降解性及可再生性等特性。取得奈米化纖維素的方法有：木漿纖維素纖維經過超聲波處理與鹽酸輔助降解；使原纖維酸水解後，利用物理高壓剪切及研磨方法均質過程，透過力學把纖維素組織間的作用力移除；酵素分解法；化學氧化法。

2006 年 Saito 教授提出以 2,2,6,6-tetra methylpiperidine (TEMPO) 活性自由基氧化法進行前處理，可以在水溶液及溫和的條件下，有效把氧化觸媒帶入粗纖維素的層間，讓組織中的醇和醛官能基反應。氧化作用後，纖維組織間帶有負電荷，除了降低氫鍵作用外，電荷間的排斥力更讓組織之間脫層而形成奈米纖維。採用 TEMPO 氧化法所取得的奈米纖維素製作成薄膜，具有高透明度、高韌性、低密度等特性。

奈米纖維素的應用

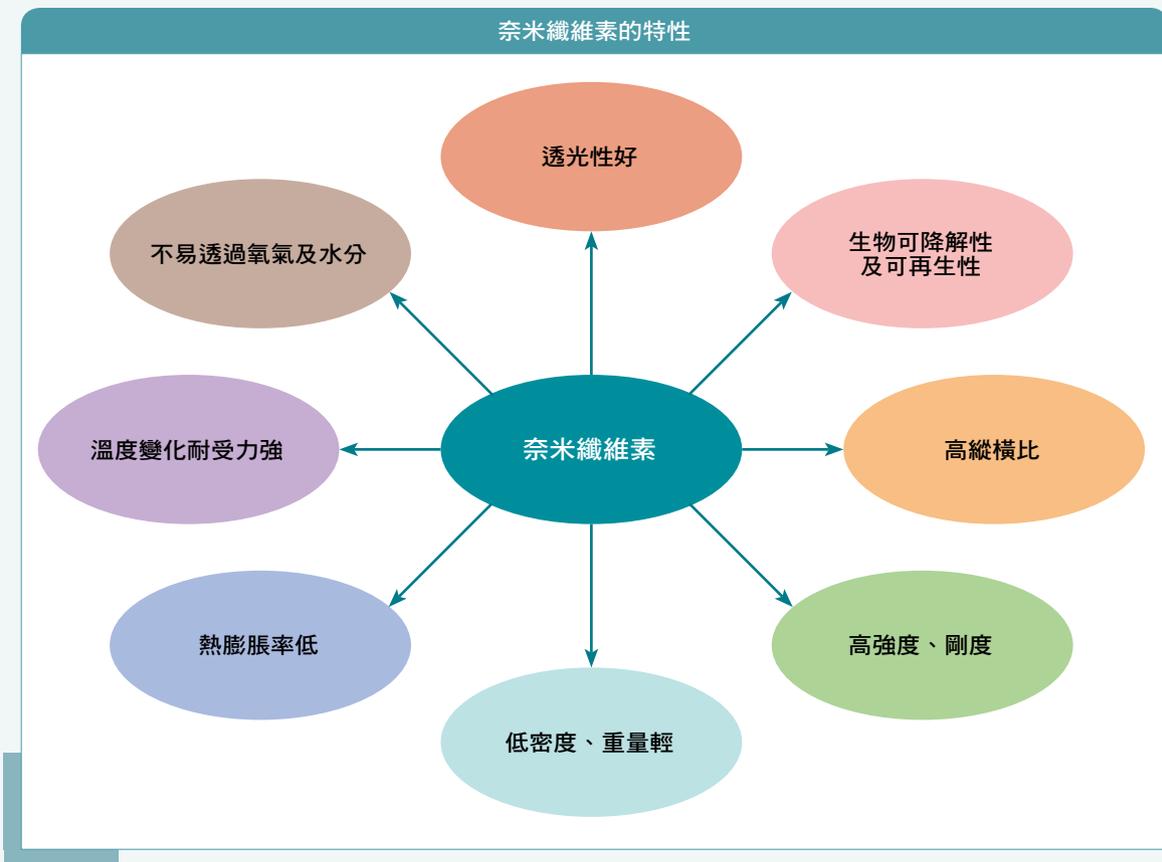
奈米纖維素作為添加劑添加到紙料中進行抄紙，可使得所製紙張的透氣抵抗與彎曲剛度提高。在需要高強度的紙板、瓦楞紙板等的應用中，可以採用奈米纖維素作為補強



奈米纖維素的穿透式電子顯微鏡影像

材料。另外在紙表面上塗布少量的奈米纖維素，紙張的氧氣透過性會較低，顯示其具有高氣體阻隔性質。

除此之外，奈米纖維素表面有高密度的羧基，容易與金屬離子結合形成離子鍵結。當吸附銀離子再經還原處理得到奈米銀粒子時，能達到抗菌、消臭等機能，可以應用於紙尿布等產品。另外，奈米纖維素的表面具有反應性羥基，使其容易與其他化學物質接枝而在表面產生不同的性能。在生活上的應用有車體部件輕量化、增加橡膠的耐久性、半導體晶片、太陽能電板基板、醫療上過濾病毒、包裝紙等。



奈米複合材料

奈米複合材料泛指兩種材料相溶後，兩相間至少有一相的分散尺度在 1 ~ 100 奈米。相較於傳統複合材料，奈米尺寸的複合材料具有更佳的機械強度、耐熱性、阻隔性、透明性、輕量化等優點。奈米纖維素是一種具有高度結晶的纖維素纖維，有利於提高複合材料的機械強度、高透明度、阻氣及耐熱性。

應用纖維提升複合材料性能的效益需考量許多因素，包含纖維大小、複合材料相容性、長寬比、體積分率、纖維方向性等，都是影響複合材料特性的因素。目前奈米纖維素可應用在多種高分子材料中，在基材的部分可分為親水性及疏水性兩類，可應用於補強親水性基材，如酚醛樹脂、壓克力樹脂、環氧樹脂或生物可分解的聚乙烯醇，或者補強疏水性基材，如石油衍

生的非生物降解的聚合物聚乙烯或聚丙烯，以及可生物降解的聚合物聚乳酸等，製備成奈米複合材料。

奈米纖維素因具備奈米分散及補強作用，通常只要添加微量（5% 內）就有明顯的補強效果。一般而言，纖維素分子結構有相當多的極性官能基，降解後的奈米纖維素可以降低大部分分子內的氫鍵結晶效應，相當容易分散在親水的基材中，如酚醛、壓克力、環氧或聚乙烯醇樹脂。由於分散性好，可應用於溶液中分散後，採用塗抹或熱固化成型加工的方法加工。奈米纖維素補強的熱塑性複合材料則有易加工、可回收等優點。

奈米纖維素由於奈米化，因此具有透光性，可以製成透明阻氣薄膜運用於食品和醫藥包裝。藉由奈米纖維素優異的機械強度、高透明度、阻氣及耐熱性，可以提高包裝材料的品質及食品保存的安全性。



植物纖維素屬於生質材料，
具備可再生、能耗低可降低二氧化碳排放量、
來源豐富、環保無毒性等優勢。

另外，結合高強度、高彈性模量、透明度等特性，更能應用於薄膜及軟性電子產業，如軟性顯示器、太陽電池、電子紙、面板等產品。

日本就把由木纖維製得的奈米纖維素含浸壓克力樹脂後，經紫外線架橋交聯獲得透明可摺曲的奈米複合材料，其奈米纖維素含量可高達 90%，這透明材料可作為發光二極體的基材。另外，奈米纖維素可製得透明的薄膜，取代傳統的紙張製成透明的電子紙。

植物纖維素或奈米纖維素可以應用於汽車工業、建築材料、民生用品、醫藥產業、光電產業等方面，近來在面臨石油及各種資源逐漸匱乏的情況下，由於植物纖維素屬於生質材料，並具備可再生、能耗低可降低二氧化碳排放量、來源豐富、環保無毒性等優勢，因此預期會日益受到重視。植物纖維素的吸水性高、品質差異度大、機械強度低於人造纖維等尚待改善的部分，則是未來研究及工業發展所需要克服及解決的課題。



含奈米纖維素的透明阻氣薄膜

石燕鳳
朝陽科技大學應用化學系