

食品級纖維素酶 (Cellulase) 用於植物萃取：提升油脂、多酚、色素與植物水溶性成分釋放的酵素輔助製程

Enzymes.bio 研究團隊 · 紐西蘭威靈頓 · June 21, 2026

食品級纖維素酶可用於植物萃取中的酵素輔助處理，主要透過水解植物細胞壁纖維素網絡，增加細胞壁孔隙與溶劑滲透性，使油脂、多酚、花青素、類黃酮、多醣與水溶性碳水化合物更容易釋放。這類應用通常不是取代所有前處理，而是與粉碎、加熱、微波、超音波或其他酵素整合，以改善萃取率、降低高強度化學處理需求，並提升製程溫和性。

Enzymes.bio 供應的 Food-Grade Cellulase Enzyme For Botanical Extraction 以 1kg 單位在線上銷售，CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供。

產品定位：用於植物萃取的食品級纖維素酶

Food-Grade Cellulase Enzyme For Botanical Extraction 是一種面向植物性原料處理的纖維素分解酵素製劑，適合研發、製程工程與食品 / 天然物原料開發團隊評估於酵素輔助萃取 (enzyme-assisted extraction, EAE) 流程中。其核心用途不是「溶解整個植物組織」，而是針對植物細胞壁中的纖維素骨架進行選擇性水解，使細胞壁結構鬆動、孔隙增加，讓原本被細胞壁、胞間層或多醣基質阻隔的目標成分更容易進入水相或後續萃取相中。植物細胞壁的可分解性受纖維素微纖維排列、結晶區域、半纖維素包覆、果膠網絡與木質素遮蔽影響，這也是纖維素酶在不同原料上表現差異顯著的主要原因之一 [1]。

Enzymes.bio 是供應商，不是製造商或實驗室；因此，本文以公開研究與製程原理說明此類食品級纖維素酶在植物萃取中的可行用途、限制與整合方式，而不宣稱特定製造來源、內部測試結果或未公開效能數據。本品適用的開發場景包括果皮與果渣、種子與油料、葉片、花材、根莖類、藻類與其他植物性副產物；常見目標成分則包含植物油、酚類化合物、花青素、色素、多醣、寡糖與水溶性植物固形物。蘋果渣等果蔬副產物的綜述也顯示，農產加工殘渣正被視為可回收多酚、膳食纖維與其他高值成分的原料池，酵素處理是其中一條常見的溫和加工路徑 [2]。

為什麼植物萃取會需要纖維素酶？

植物細胞壁是一個複合屏障，而不是單一「殼層」。初生細胞壁常由纖維素微纖維、半纖維素、果膠與結構蛋白共同形成；成熟組織或木質化組織還可能含有較高比例的木質素與酚酸交聯。對萃取而言，這些結構會造成三個問題：溶劑進不去、目標成分出不來，以及固液分離時黏度或懸浮細粒增

加。纖維素酶的價值在於削弱纖維素支架，降低細胞壁完整性，使溶劑通道與細胞內物質釋放路徑更容易形成；在油脂與蛋白質共存的種子或油料中，改善細胞壁可及性也會影響油體與蛋白質的釋出效率 [3]。

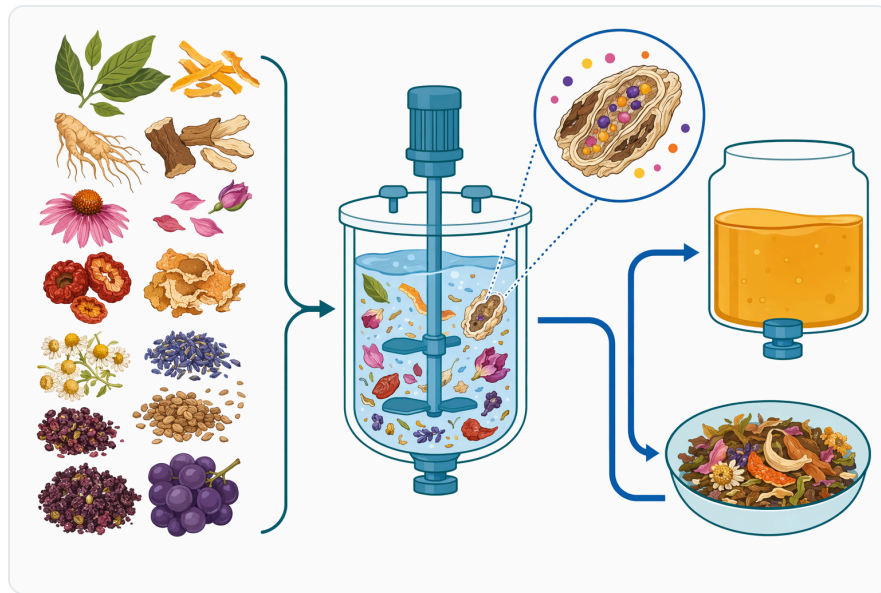


Figure 1. 當纖維性植物結構限制液體滲透、化合物釋放及後續分離時，會使用纖維素酶。

在傳統萃取中，企業常以更細的粉碎、更高溫度、更長浸提時間或更多溶劑來克服傳質限制，但這些策略可能增加能耗、氧化風險、溶劑回收負擔與下游澄清難度。酵素輔助萃取的定位，是在相對溫和的水相或含水條件下先鬆動細胞壁，再接續壓榨、離心、過濾、醇水萃取、膜濃縮或乾燥等單元操作。針對植物細胞油脂提取的研究綜述指出，酵素前處理能透過破壞細胞壁與膜相關結構，促進油脂釋放；但實際效果仍取決於原料粒徑、含水狀態、酵素組合與後續分離條件 [4]。

作用機制：纖維素酶如何讓目標成分更容易被萃出？

纖維素微纖維的水解與細胞壁鬆動

纖維素是由葡萄糖單元以 β -1,4 糖苷鍵連接而成的線性多醣，分子鏈之間以氫鍵形成微纖維，並進一步與半纖維素、果膠和其他壁成分形成多層次結構。纖維素酶並非單一動作，而是由不同功能的纖維素分解活性共同作用：有些在纖維素鏈內部切割，快速降低聚合度；有些從鏈端釋放較小的纖維寡糖；另有相關酵素可進一步將小分子寡糖轉化為葡萄糖。單分子尺度的纖維素降解模型顯示，纖維素酶系統的效率與酵素在纖維素表面的吸附、移動、切割位置與產物釋放有關，這可解釋為何相同酵素在不同纖維素結構上可能有不同速率 [5]。

當纖維素微纖維被部分水解後，細胞壁的機械強度會下降，細胞間黏附與細胞壁孔隙結構也可能改變。這種「局部解構」通常已足以提升萃取，而不需要完全糖化所有纖維。對天然產物萃取來說，過度水解不一定有利，因為它可能增加可溶性膠體、多醣或細粉進入萃取液，進而提高黏度與過濾負擔。因此，纖維素酶在植物萃取中的實務目標通常是控制性破壁與增滲，而不是以最大程度水解纖維素為唯一目的。纖維素超分子結構對酵素水解的影響已被反覆討論，包括結晶度、可及表面積與纖維排列方式都會影響酵素接近底物的難易度 [1]。

半纖維素、果膠、酯鍵與木質素造成的限制

雖然本品的核心功能聚焦於纖維素，但真實植物細胞壁常存在「纖維素被其他多醣包覆」的情況。例如禾本科原料常含阿拉伯木聚糖，部分側鏈可能帶有阿魏酸等酚酸基團，形成多醣間或多醣—木質素間的交聯；這些交聯會降低纖維素酶對纖維素表面的可及性。針對禾本科細胞壁阿魏醯化阿拉伯木聚糖側鏈的定量研究，顯示細胞壁中酚酸修飾與側鏈結構具有相當複雜度，這類結構是解構難度的重要來源之一 [6]。

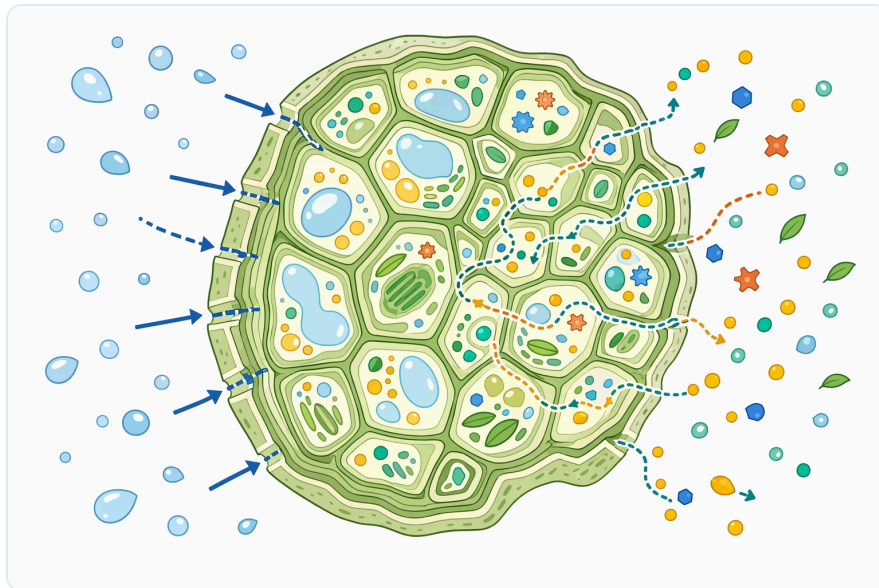


Figure 2. 即使植物材料已被切割或研磨，富含纖維素的細胞壁結構仍可能形成物理性的質量傳遞屏障。

在某些原料中，僅使用纖維素酶可能無法充分打開細胞壁，尤其是高果膠水果皮、種皮、木質化莖稈或纖維含量高的副產物。此時，纖維素酶常與果膠酶、半纖維素酶、木聚糖酶或去乙醯化相關酵素形成互補作用：果膠酶降低胞間層黏結與黏度，木聚糖酶拆解半纖維素包覆，纖維素酶再進一步削弱微纖維支架。植物多醣去乙醯化相關的碳水化合物酯酶研究指出，多醣上的乙醯基會影響酵素接近與水解效率，因此輔助酵素在複雜細胞壁解構中具有實質意義 [7]。

木質素則是另一個重要限制。木質素不僅形成物理屏障，也可能非生產性吸附纖維素酶，使酵素停留在不能有效水解的表面，降低有效利用率。關於木質素結構與纖維素酶吸附的研究指出，木質素的化學組成、官能基與表面特性會影響纖維素酶吸附與水解表現；因此，高木質素原料通常需要更審慎地整合機械、熱化學或多酵素前處理 [8]。

與其他萃取策略的比較

下表以製程思維比較食品級纖維素酶在植物萃取中的角色。此比較不代表單一方案必然優於其他方案；實際選擇取決於原料特性、目標成分穩定性、設備條件與下游產品規格。

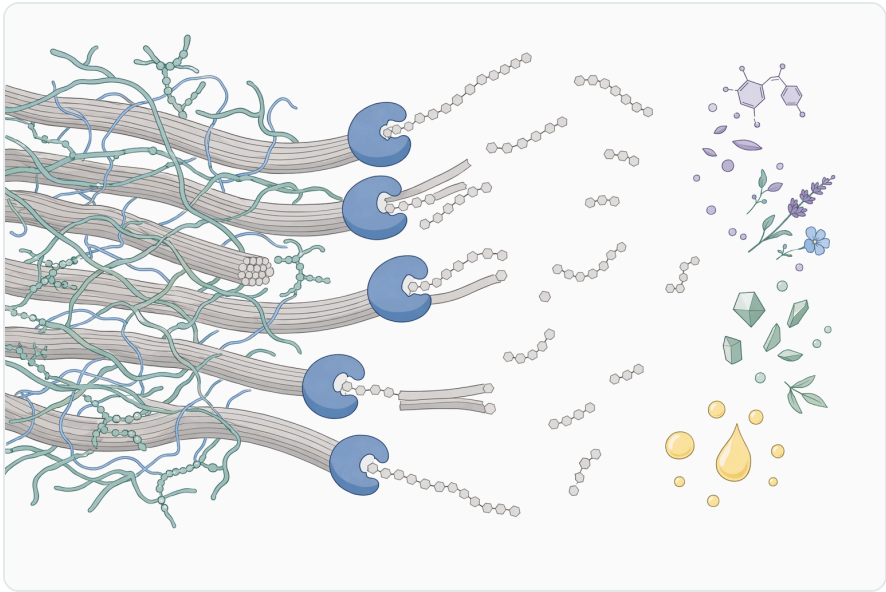


Figure 3. 纖維素酶會在可接觸的細胞壁表面水解以 β -1,4 鍵連結的纖維素鏈，削弱其支架結構並為萃取液打開通路。

策略	主要作用	優點	可能限制	適合場景
單純機械粉碎 / 壓榨	增加比表面積，破壞部分組織	設備普遍、流程直觀	對細胞壁完整或膠質含量高的原料，傳質仍受限	油料種子、果蔬初級處理
傳統溶劑萃取	以溶劑溶解目標成分	對脂溶性成分效率高	溶劑回收、殘留、能耗與法規負擔	植物油、香氣與非極性成分
纖維素酶輔助萃取	水解纖維素骨架，增加孔隙與釋放	條件較溫和，可與水相流程整合	對高木質素或高果膠原料可能需搭配其他酵素	多酚、色素、多醣、油脂前處理
多酵素輔助萃取	同時處理纖維素、半纖維素、果膠等	對複雜細胞壁更完整	配方與流程需優化，成本結構較複雜	果渣、葉材、根莖、種皮

策略	主要作用	優點	可能限制	適合場景
微波 / 超音波結合酵素	先改善孔隙、傳質或細胞壁鬆動，再以酵素作用	可縮短處理時間、提升可及性	過高能量可能使酵素失活或影響敏感成分	花青素、多酚、油體與蛋白質回收

微波誘導多孔細胞壁後再進行水相酵素萃取的研究，顯示物理前處理可改善酵素可及性，進而提高油體與蛋白質產出；這支持「先打開傳質路徑，再讓酵素作用」的流程邏輯 [3]。

主要應用一：油脂與油體萃取前處理

在油料種子、堅果、核仁與某些植物副產物中，油脂常以油體形式存在於細胞內，外部受到細胞壁與蛋白質基質保護。纖維素酶可削弱細胞壁，讓壓榨或水相分離更容易接觸油體；若搭配蛋白酶或半纖維素酶，還可能進一步改善油體釋放與乳化狀態控制。植物細胞油脂萃取的酵素前處理研究指出，細胞壁降解、細胞膜破壞與油脂聚集釋出是提高油脂回收率的關鍵機制 [4]。

不過，油脂萃取對酵素處理條件相當敏感。若水相處理造成穩定乳化，可能提高後續破乳與離心負擔；若溫度、氧氣暴露或金屬離子控制不佳，也可能影響不飽和脂肪酸氧化。因此，在油脂應用中，纖維素酶通常被視為前處理工具，而非單獨完成油脂分離的方案。流程上常見做法是先調整原料含水與粒徑，再進行酵素處理，後續接續壓榨、離心或低溫溶劑 / 醇水系統；具體條件需由使用者依其原料和終產品規格建立。



Figure 4. 在植物萃取中，纖維素酶通常會在水合或萃取階段加入，之後再進行固液分離及最終濃縮或乾燥。

主要應用二：多酚、花青素與植物色素釋放

多酚、花青素與類黃酮常分布於液泡、表皮細胞或與細胞壁多醣形成弱結合或物理包埋。纖維素酶處理可提升細胞壁通透性，使水、乙醇水溶液或其他食品適用萃取介質更容易接觸這些化合物。蝶豆花中花青素與酚類化合物的研究即以微波與酵素水解輔助條件進行萃取優化，反映出色素與酚類成分回收常受細胞壁破壞程度與傳質條件共同影響 [9]。

色素類應用需要特別注意成分穩定性。花青素對 pH、溫度、光與金屬離子敏感；葉綠素與類胡蘿蔔素則可能受氧化與溶劑極性影響。纖維素酶的優勢是可在相對溫和條件下增加釋放，而不是依賴強酸、強鹼或長時間高溫；但若酵素處理時間過長，可能造成共萃物增加，使色澤、澄清度或後續濃縮表現改變。因此，開發時通常會同時觀察目標成分濃度、色度、濁度、黏度與感官相關指標，而不只追求總萃取固形物增加。

主要應用三：根莖、香辛植物與天然產物萃取

薑黃、薑科根莖、草本植物與香辛料中的目標成分，可能位於含澱粉、纖維與油脂的複合組織中。酵素輔助萃取可先降低細胞壁阻隔，讓後續醇水萃取或其他食品相容溶媒更有效率地接觸目標成分。針對薑黃與 temulawak 根莖的研究主題即指出，酵素輔助萃取被用於提高萃取產率與薑黃素含量，說明纖維素酶相關策略在根莖類天然物開發中具有應用背景 [10]。

這類原料的挑戰在於組成高度複雜：澱粉糊化、蛋白質、樹脂、揮發油與纖維會共同影響萃取液黏度與過濾性。若目標是熱敏性或易氧化成分，酵素處理可降低部分熱負荷；若目標是脂溶性成分，則需搭配適當後續溶媒或分離方式。纖維素酶在此類流程中的價值通常體現在「提高前段可萃性」與「降低後段萃取強度」，而不是直接決定最終純化程度。



Figure 5. 使用纖維素酶處理主要期望達到的實務效果，是在富含纖維素的組織成為瓶頸時，提高可回收產率、加快釋放、使分離更容易，並改善萃取物外觀。

主要應用四：果汁、果泥與果蔬副產物利用

在果汁與果泥製程中，細胞壁多醣會影響出汁率、黏度、濁度與過濾速度。雖然果汁處理常以果膠酶為核心，但纖維素酶可與其互補，協助破壞果肉細胞壁、降低懸浮固形物結構強度，改善壓榨與澄清表現。果汁酵素輔助處理的綜述指出，酵素在水果加工中被用於提升出汁率、澄清、降低黏度與改善過濾等多個環節 [11]。

果蔬副產物如蘋果渣、柑橘皮、葡萄皮籽、莓果渣與蔬菜纖維，常含有膳食纖維、多酚與可溶性碳水化合物。纖維素酶處理可以協助釋放可溶性部分，也可改變纖維結構，使副產物更適合進一步製成食品配料、發酵基質或萃取原料。以 *Cacalia firma* 為例，酵素水解取得的水溶性碳水化合物被用於抗氧化性評估，顯示植物多醣與寡糖釋放不只是提高收率，也可能改變功能性評估結果 [12]。

主要應用五：藻類與特殊細胞壁原料

微藻與海藻的細胞壁結構與陸生植物不同，可能含有纖維素、半纖維素樣多醣、糖蛋白、藻酸鹽或其他特殊多醣。對脂質豐富微藻而言，細胞壁常是萃取油脂、色素與蛋白質的主要屏障；酵素破壁可作為機械破碎、溶劑萃取或濕式分離的輔助步驟。微藻細胞壁與酵素破壞的綜述指出，不同藻種細胞壁超微結構差異大，酵素選擇與前處理策略必須依藻種特性而定 [13]。

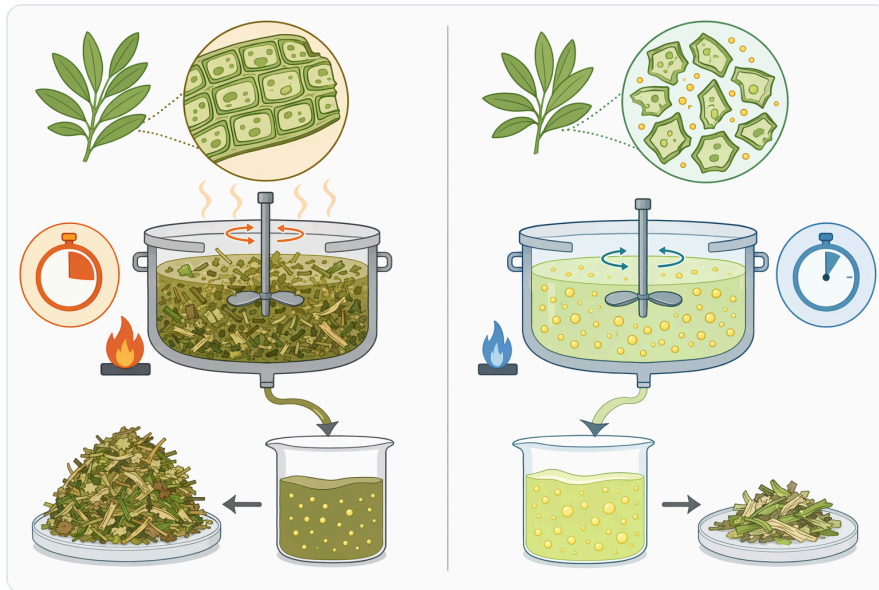


Figure 6. 不同類別的酶會作用於不同的植物基質成分，因此當限制萃取的是纖維素，而非果膠、澱粉、半纖維素或蛋白質時，纖維素酶最為相關。

在藻類應用中，纖維素酶通常需要與其他多醣酶或物理處理搭配，因為單一纖維素結構未必是唯一屏障。若目標是色素或蛋白質，過度劇烈的物理破碎可能導致氧化、變性或雜質共釋出；酵素處理則可提供較溫和的破壁路徑。相對地，藻泥含水量高、固液分離困難與細胞壁差異大，會使放大流程比乾燥植物粉末更複雜。

製程整合重點：把纖維素酶放在正確的位置

纖維素酶的效益高度依賴前後段流程。一般而言，酵素處理前需要有足夠的比表面積，否則酵素只能作用於外層組織；但過度粉碎又可能提高黏度、形成細粉並增加分離負擔。對多數植物粉末、切片或濕渣而言，較合理的策略是先以機械方式打開宏觀結構，再以纖維素酶處理微觀細胞壁屏障，最後接續固液分離與目標成分萃取。柳枝稷等木質纖維素原料的研究顯示，細胞壁性質會顯著影響後續熱化學前處理與酵素水解的解構結果，說明原料結構本身是流程設計的核心變因 [14]。

pH、溫度、含水量、固形物濃度、攪拌與處理時間都會影響纖維素酶表現，但本文不提供特定活性單位、分析方法或規格性條件。從製程角度看，關鍵是讓酵素在不破壞目標成分的條件下接觸底物，同時避免形成過多不利於下游的可溶性膠體。若後續是水相萃取，酵素處理液可直接進入離心、過濾或濃縮；若後續是醇水或其他食品適用溶媒，則需評估酵素處理後的含水量與固液比例對萃取平衡的影響。



Figure 7. 纖維素酶可改善對植物組織的物理接觸，但仍不能取代能承載目標化合物的萃取階段。

強證據、適用邊界與常見誤解

支持纖維素酶用於植物萃取的強證據，主要來自植物細胞壁結構研究、纖維素酶水解機理、果汁與植物副產物加工經驗，以及多篇針對油脂、多酚、花青素、蛋白質或水溶性碳水化合物化合物的酵素輔助萃取研究。這些證據共同支持一個穩健結論：當目標成分受細胞壁阻隔時，適當的纖維素酶處理可以改善可及性與釋放效率。生物性木質纖維素前處理的綜述也指出，酵素與微生物相關策略具有降低嚴苛化學處理需求的潛力，但反應速率、底物可及性與放大經濟性仍是挑戰 [15]。

其適用邊界同樣明確。第一，纖維素酶不是萬用破壁劑；若限制因素主要是果膠、木質素、角質層、澱粉或蛋白質基質，單用纖維素酶的增益可能有限。第二，萃取率提高不等於產品品質一定提高；共萃出的多醣、蛋白、單寧或微粒可能改變口感、顏色、澄清度與濃縮效率。第三，實驗室中觀察到的高釋放率，放大後可能受到混合、傳熱、固液分離與批次原料差異影響。關於纖維素酶生產與第二代木質纖維素生質乙醇應用的生命週期評估，也提醒酵素本身具有供應鏈與製程成本，導入時需放入整體流程效益中評估 [16]。

Enzymes.bio 供應形式與文件提供

Enzymes.bio 供應 Food-Grade Cellulase Enzyme For Botanical Extraction，產品以 1kg 單位在線上直接銷售，適合企業在既有研發與製程開發流程中評估使用。CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，可協助使用者進行內部收料、文件留存與安全管理；本文不宣稱 Enzymes.bio 為製造商或實驗室，也不以未公開測試數據替代使用者對自身原料與終產品規格的重視。

對 B2B 使用者而言，較務實的導入方式是把纖維素酶視為「提高細胞壁可及性」的製程工具，而不是單一保證收率的添加物。若原料以纖維素與非木質化細胞壁為主，纖維素酶可能帶來明顯幫助；若原料富含木質素、酚酸交聯或複雜半纖維素，則更可能需要多酵素或物理前處理整合。這種判斷與植物細胞壁解構文獻一致：底物結構、酵素可及性與非生產性吸附，是影響結果的三個核心因素 [8]。

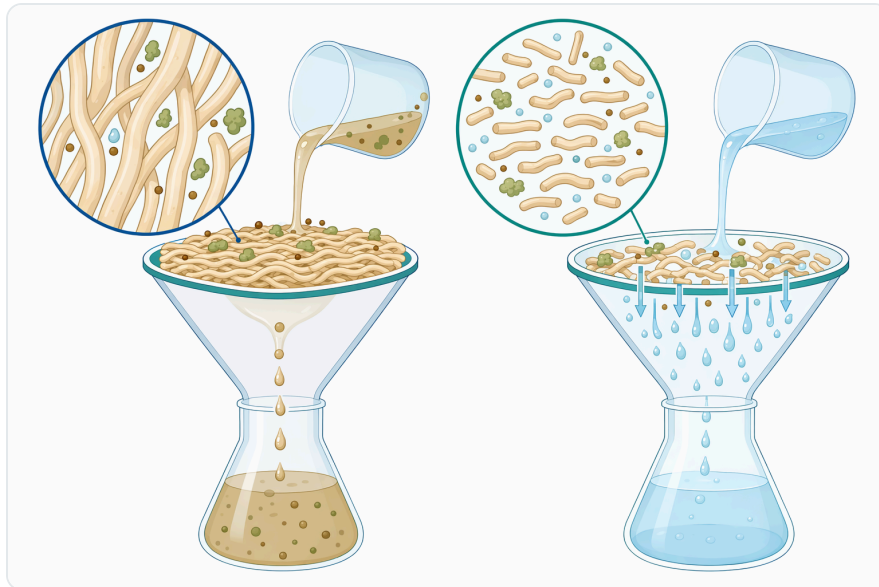


Figure 8. 當過濾阻力與混濁是由富含纖維素的碎片造成時，纖維素酶可降低纖維網絡的完整性，並有助於更清潔的分離。

結論：食品級纖維素酶是植物萃取的溫和破壁與增滲工具

食品級纖維素酶在植物萃取中的主要價值，是以生物催化方式削弱細胞壁纖維素網絡，提升溶劑滲透與目標成分釋放，適用於油脂、多酚、花青素、植物色素、多醣與水溶性成分等多種開發方向。其效果最明顯的情境，是目標成分確實受細胞壁或多醣基質限制，且製程能提供足夠的含水環境、混合與後續分離能力。

同時，纖維素酶並非孤立使用就能解決所有萃取問題。原料中的果膠、半纖維素、酚酸交聯與木質素會影響酵素可及性；物理前處理、多酵素組合與後段分離條件，往往決定最終是否具有經濟與品質上的正效益。對於希望降低嚴苛萃取條件、提高植物副產物價值或開發較溫和天然物製程的企業，**Food-Grade Cellulase Enzyme For Botanical Extraction** 可作為一個具研究基礎、可與既有設備整合的酵素輔助選項。

線上訂購 Food-Grade Cellulase Enzyme For Botanical Extraction

以 1 kg 單位販售，現貨供應，可立即出貨。請直接於我們的線上商店下單並付款，我們將為您處理訂單。每筆訂單皆附分析證明書與安全資料表。

[購買 Food-Grade Cellulase Enzyme For Botanical Extraction →](#)

參考文獻

依首次引用順序編號。所有來源皆為開放取用資料，並於發布時確認可連線；正文中的引用編號會連結至此。

1. Thygesen, L. G., Hidayat, B., Johansen, K., & Felby, C. (2011). Role of supramolecular cellulose structures in enzymatic hydrolysis of plant cell walls. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 38, 975-983.
2. Vydani, K., Sri, T., Karri, S., Nemala, N. S., Vanaja, S., Sadanala, D., & Ganta, B. (2026). A Review on Extraction, Multi-Industrial Applications and Sustainable Valorization of Apple Pomace. *Journal of Pharma Insights and Research*.
3. Guo, X., Bi-Wu, Jiang, Y., Zhang, Y., Jiao, B., & Wang, Q. (2023). Improving enzyme accessibility in the aqueous enzymatic extraction process by microwave-induced porous cell walls to increase oil body and protein yields. *Food Hydrocolloids*.
4. Vovk, H., Karnpakdee, K., Ludwig, R., & Nosenko, T. (2023). Enzymatic Pretreatment of Plant Cells for Oil Extraction. *Food Technology and Biotechnology*, 61, 160 - 178.
5. Eibinger, M., Zahel, T., Ganner, T., Plank, H., & Nidetzky, B. (2016). Cellular automata modeling depicts degradation of cellulosic material by a cellulase system with single-molecule resolution. *Biotechnology for Biofuels*, 9.
6. Schendel, R., Meyer, M. R., & Bunzel, M. (2016). Quantitative Profiling of Feruloylated Arabinoxylan Side-Chains from Graminaceous Cell Walls. *Frontiers in Plant Science*, 6.
7. Biely, P. (2012). Microbial carbohydrate esterases deacetylating plant polysaccharides. *Biotechnology Advances*, 30 6, 1575-88 .
8. Wu, W., Li, P., Huang, L., Wei, Y., Li, J., Zhang, L., & Jin, Y. (2023). The Role of Lignin Structure on Cellulase Adsorption and Enzymatic Hydrolysis. *Biomass*.
9. Nguyen, K. D., Nguyen, N., & Dong, T. A. D. (2025). Optimization of Extraction Conditions for Anthocyanin and Phenolic Compounds From Clitoria ternatea L. Assisted by Microwave and Enzyme Hydrolysis. *Journal of food biochemistry*.
10. Septiani, D., Utami, M. R., Sholih, M. G., Nurayuni, T., & Khairunnisa, S. (2026). Enzyme-assisted extraction (EAE): efficient and effective green extraction on turmerik (Curcuma longa L.) and temulawak (Curcuma xanthorrhiza Roxb.) rhizomes for higher yield and content of curcumin. *Pharmaciana*.

11. Pui, L., & Saleena, L. A. K. (2023). Enzyme-Aided Treatment of Fruit Juice: A Review. *Food processing*.
12. Ha, S., Kim, H., & Yang, J. (2025). Enzymatic Hydrolysis-Derived Water-Soluble Carbohydrates from *Cacalia firma*: Evaluation of Antioxidant Properties. *Foods*, 14.
13. Shivakumar, S., Serlini, N., Esteves, S. M., Miros, S., & Halim, R. (2024). Cell Walls of Lipid-Rich Microalgae: A Comprehensive Review on Characterisation, Ultrastructure, and Enzymatic Disruption. *Fermentation*.
14. Kothari, N., Bhagia, S., Pu, Y., Yoo, C., Li, M., Venketachalam, S., Pattathil, S., ... et al. (2020). The effect of switchgrass plant cell wall properties on its deconstruction by thermochemical pretreatments coupled with fungal enzymatic hydrolysis or *Clostridium thermocellum* consolidated bioprocessing. *Green Chemistry*, 22, 7924-7945.
15. Chen, S., Zhang, X., Singh, D., Yu, H., & Yang, X. (2010). Biological pretreatment of lignocellulosics: potential, progress and challenges. *Biofuels*, 1, 177 - 199.
16. Gilpin, G., & Andrae, A. (2017). Comparative attributional life cycle assessment of European cellulase enzyme production for use in second-generation lignocellulosic bioethanol production. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22, 1034-1053.

聯絡 Enzymes.bio

對訂單有疑問嗎？我們的團隊很樂意協助。

電子郵件 wholesale@enzymes.bio

電話 (美國) **+1 (507) 428-6057**

聯絡我們 →

 **400+** B2B 客戶

 **60+** 大學研究合作夥伴

 **54** 服務遍及全球

© 2026 Enzymes.bio · 工業與食品加工用酵素供應 · 非供人體食用或零售銷售。