

綠色林產

◎國立中興大學森林系・蘇裕昌 ◎林業試驗所木材纖維組・何振隆

前言

林產學為森林科學中之一研究領域，其範圍非常廣泛，包括木材物理、木材化學、生物技術及副產物之研究利用等範圍。林產工業上主要原料為木質材料，主要的林產研究是要將木材以各種方法(物理、化學等)加工轉換成各種形式，以達到各種使用目的，如：製漿、製材、加水分解...等。然而，最能發揮木材資源利用為以木質材料經轉換

成各種資源性化合物，再以各種方法加以分別利用。木質材料由三種主要成分纖維素(50%)、半纖維素(20~30%)、木質素(20~30%)與少量的灰分、油脂、樹脂、色素及單寧等副成分(<5%)組成，其具有轉換成食品、飼料、化工原料或能源等之高潛在利用價值潛能(圖1)。故林產研究之終極目的即為「森林環境保全」及「森林資源之有效利用」等二者均衡原則下進行，以達到提供人類健康及豐富生活，所進行的各項研究工作。

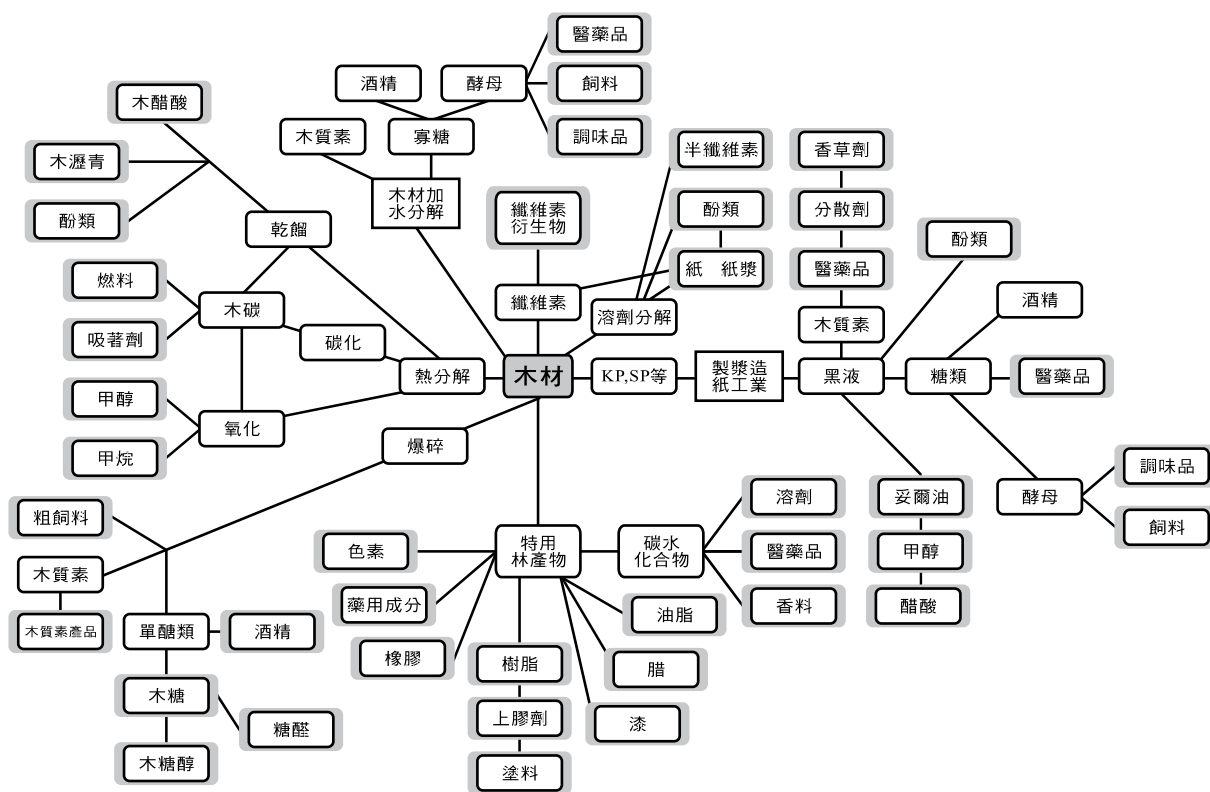


圖1 林產物之有效利用

然而能源，其為人類社會存在與發展的物質基礎，在工業革命之後，建立在煤炭、石油、天然氣等化石燃料基礎上的能源體系，使人類社會文明不斷的發展。已步入21世紀的今天，人類正面臨著經濟成長和環境保全之雙重壓力，能源問題是當今世界各國都面臨的關係國家安全和經濟社會可持續發展的中心議題，因人們毫無節制的大規模使用化石燃料所帶來之嚴重後果，如：石油價格飆漲、資源日益枯竭、環境不斷惡化及誘使國與國之間、地區與地區之間的政治、經濟等糾紛，甚至產生衝突和戰爭等。因此人類必須尋找一種新的、清潔、安全及可靠的可持續能源系統，即為生質能源(biomass energy)系統之利用。所謂生物質量(biomass)為指通過光合作用而形成的各種有機體，包括所有的動植物和微生物等。生質能源為太陽能以化學能形式儲存於生物質量中之能量形式，以生物質量做為載體的能量。其為直接或間接的來自於綠色植物的光合作用，可轉化為常規的固態、液態或氣態之燃料，取之不盡用之不竭的一種可再生資源。生質能源的原始能量來源於太陽，所以從廣義上來說，生質能源是太陽能的一種表現。因此，以下即為如何從林產物轉換為生質能源之介紹。

木質材料之前處理

製造生質能源首先須將材料切片，再將其中所含三種主要成分分離為纖維素、半纖維素及木質素，以為生質能源轉換原料。

- (1) 纖維素為自然界中蘊藏量最豐富，且取之不盡用之不竭的可再生資源，其中，大部分為來自天然纖維的細

胞壁中，於植物纖維中均存在於植物體內，較重要的有木材、竹、稻草、蔗渣、棉、麻類、韌皮纖維...等等。植物體中水與二氧化碳由於光合作用形成葡萄糖分子，500~6,000個葡萄糖分子經縮合反應形成纖維素分子，不同長度的纖維分子，結合形成直徑10~20 μm 長度不等之微纖維(microfibril)，微纖維之不同角度排列形成結晶領域及非結晶領域，由多數纖維素分子結合成之微纖維再結合成纖維細胞與木質半纖維素等結合成植物的組織。

- (2) 半纖維素為由各種不同之糖殘基結合，如：聚戊糖(pentosan)，及聚己糖(hexosan)所構成之多糖。經完全加水分解後，可分離出-葡萄糖(glucose)、甘露糖(mannose)及半乳糖(galactose)等六碳糖，及木糖(xylose)，阿拉伯糖(arabinose)等五碳糖及糖醛酸(uronic acid)及乙酰基(acetyl group)等。闊葉樹材中含聚木糖較多，針葉樹材含甘露糖較多。針葉樹材之半纖維素亦含有葡萄糖，半乳糖。阿拉伯糖在兩者皆含有少量，在某些闊葉樹材含有少部份鼠李糖(rhmanose)。
- (3) 木質素為一種不容易受熱加水分解之高分子無定形物質，主要存在於木質化之植物細胞壁上，由其互相之膠著力使木材組織強固，化學構造上以酚基丙烷(phenyl propane； $\text{C}_6\text{-C}_3$)為構造之基本構成單元。基本構成單元間以碳-碳(C-C)結合，及醚鍵結(C-O-C)

結合構成複雜物質，而且含有甲氧基(methoxy； OCH_3)之官能基。

木質材料構造非常堅韌，故首先必須以物理、化學方法或生物性處理法，將木質素與其他二種成分分離。

(1) 微粒粉碎化處理

此處理法即增大纖維素的表面積及非結晶領域以達到提高酵素糖化率之目的。一般而言，此法適用於所有原料，但將木材中70%以醣類加水分解至少需將木材磨碎成直徑10至30 μl 左右的微粒，此等粉碎需消耗大量能源，因而必須配合其他的方法(如 γ 射線照射)才能達到減低消耗能源。

(2) 微生物處理

如微生物製漿中雖可節約能源及防止汙染，但腐朽過程需消耗很長時間，在分解木質素之同時纖維素及半纖維素也會同時被分解。但如能配合其他目的也可達到前處理之要求。如以種植香菇後之段木進行酵素糖化，段木在生產香菇的同時即也等於進行白腐菌去除木質素之前處理。

(3) 有機溶劑之脫木質素法

以此法進行木材前處理不會產生環境汙染並符合經濟效益，深為各界注目。所採用之有機溶劑有醇類、酚類及有機酸等。其優點為投資省、成本低、盈虧平衡點所需規模小、汙染少、副產物可回收及利用、漿的得率高且漿性能好。

(4) 蒸煮爆碎處理

此法較為方便且不需使用任何化學藥

品，為較經濟之前處理法。操作方法即在高溫、高壓下以水蒸氣進行木材之蒸煮及爆碎。木材在高溫高壓下處理則半纖維素中之乙醯基(acetyl)會脫離而使其pH值降低至3左右，此結果會導致(a)半纖維素低分子且可溶於水，(b)大部分木質素可溶於稀鹼中，(c)纖維素之酵素糖化率可達80%以上。此法不僅為酵素加水分解之有效處理法，且經蒸煮、爆碎處理後能將木材成分分離，即蒸煮處理得到之纖維以水洗淨能將半纖維素除去，接著以有機溶劑將木質素抽出，抽出木質素後之殘渣即為纖維素。以此法分離之成分再經轉換之方法達到充分利用木材成分之目的。但此法之缺點為各樹種間成分之差異大且有不同之分解率。

木材成分的轉換利用

木材經蒸煮處理後，其中所含半纖維素之大部分分解成醣類而溶出於處理液中。以闊葉樹材為原料從半纖維素得到之糖主要為木糖，為低熱量糖可作為減肥等健康食品，更重要的由還原及脫水反應可變換成醫藥上及化學工業上重要之原料木糖醇(xylitol)或呋喃甲醛(furfural)。木糖醇可用為點滴用糖輸液，一公斤之價格約為2700/Yen。糖醛因無法自石油資源誘導或變換製造，為製造尼龍、呋喃樹脂等之貴重原料。蒸煮液中除中性部外，酸性部中尚有酸性寡糖及纖維素、木質素的分解物存在，以離子交換樹脂及合成吸著劑將其純化後可得xyloaligomer糖，此物具有類似麥芽糖之性質，可用為食品之添加物。

表1 以半纖維素為原料之產品

原料單糖	反應	反應生成物	高次反應生成物	用途
xylose	酸處理	furfural	tetrahydrofuran	塑膠
xylose	氫化	xylitol		甜味料、血液稀釋劑、界面活性劑、滲透壓利尿劑、點滴劑、糖代謝異常改善、塑膠
xylose	氫化	xylitol		
glucose	氫化	sorbitol		甜味料、稀釋劑、界面活性劑、濕潤調整
glucose	氫化		ascorbic acid	食品添加物維他命C
mannose	氫化	manitol	ascorbic acid	甜味料、利尿劑、安定劑
galactose	氫化	surcitol	metacrylic ester	塑膠
xylose	醋化	乳化劑	metacrylic ester	食品添加劑
xylose	氧化		trioxy glutaric acid	接著劑、界面活性劑增加劑
xylose	甲基化	methyl-xyloside	與isocyanate反應	polyurathane
glucose	甲基化	methyl-glucoside	與isocyanate反應	polyurathane

木質素的利用中，於蒸煮木片處理之條件，可溶化木質素的量會有所變化，此等木質素較磨木木質素(MWL)有較多之甲氧基且因未經重縮合反應，反應性佳且分子間無硫之存在較容易變換成種種附加價值較高化學工業之原料。其用途可為鋼筋水泥混合劑、粉礦石製粒劑、肥料製粒劑、肥料、基質土壤改良劑、窯業原料粘結劑、分散劑、農業製粒劑、染料、顏料分散劑、粉碎助劑、石膏板用添加劑、水泥調整劑等。

結語

木材資源做為食糧、燃料、化學工業原料等具有高潛在價值，但尚未充分應用，雖經多年努力各研究領域皆有進展，但由於經濟性之問題尚未能實際。最近由於技術不斷之發展，相信木質資源之轉換技術應該有較佳可行性。此外，近來石油價格急遽飆漲且世界性之食糧、能源等問題尚未解決，要刺激林業活性化，確立木質材料之有效利用應為當今之急務。☢