

纖維乙醇之料源 (Feedstocks of cellulosic ethanol)

木質纖維素 (Lignocellulose) 是地球最豐沛之材料，存在於草本植物 (Herbaceous crops)、木本植物 (Woody crop)、農業與森林廢棄物 (Agricultural and forestry residues)、部分之一般廢棄物與事業廢棄物 (Portion of municipal solid waste and various industry waste)，其組成包括纖維素 (Cellulose)、半纖維素 (Semicellulose)、木質素 (Lignin)、可萃取物 (Extractive) 與灰分 (Ash) 等。前三者屬於高分子量之物質，是構成木質纖維素重量之主要組成，而後二者屬於低分子量之物質。表 1 所列是常見之農業與一般廢棄物之纖維素、半纖維素與木質素組成比例。

纖維素是一種由葡萄糖 (D-glucose) 單體 (Moieties) 組成，並以 β - (1,4) - 糖苷鍵 (β -1,4 glucosidic linkages) 聚合成之直鏈狀高分子結構 (圖 1)，即相鄰之葡萄糖分子係以纖維雙醣 (Cellobiose) 為單位，重複形成直鏈狀結構，鏈之長度平均為 100~14,000 個葡萄糖分子。纖維素並非只是單純之鏈狀結構，而是由長鏈分子先組成微小細長狀之超微纖維體 (Micelles)，再由 10-20 個超微纖維體排列組合成堅硬、不溶於水之微纖維 (Microfibrils)。這些微纖維在細胞壁上平行排列，具有結構穩固之結晶區 (Crystalline region)，間隔則存有較為鬆散之非結晶區 (Amorphous region)，如圖 2。

半纖維素是常見於木質纖維素中之多醣類，其結構與組成和纖維素不同，係由短而高度分枝之多種醣類 (基) 聚合而成，有屬於五碳醣 (Five-carbon sugars) 之木糖 (Xylose)、樹膠醛糖 (L-arabinose)，屬於六碳醣 (Six-carbon sugars) 之半乳糖 (D-galactose)、葡萄糖 (Glucose)、甘露糖 (D-mannose)，以及尿酸 (Uronic acid) 等；其中，鏈狀結構之骨幹 (Backbone) 為均質聚合物 (Homopolymer) 或異質聚合物 (Heteropolymer)。由於高度分枝之鏈狀結構，使得半纖維素具有非結晶質 (Amorphous) 特性，容易被水解 (Hydrolysis)，並釋出組成醣 (Constituent sugars)。

木質素是非晶體之高分子化合物，係由苯基丙烷 (Phenyl propane) 所組成之三維結構物。由於木質素對酸具有抗水解力，在水解過程中，成為不溶解之殘留物，加上苯基丙烷無法被醱酵，因此木質素必須從纖維素與半纖維素中分離開來。

被萃取物又稱為抽出成分或抽提物，係指木質纖維素中可被醇類、醚類、丙酮 (Acetone)、二氯甲烷 (Dichloromethane) 等溶劑分離出之可溶物質，不屬於纖維素、木纖維素、木質素之成分皆可稱為被萃取物。

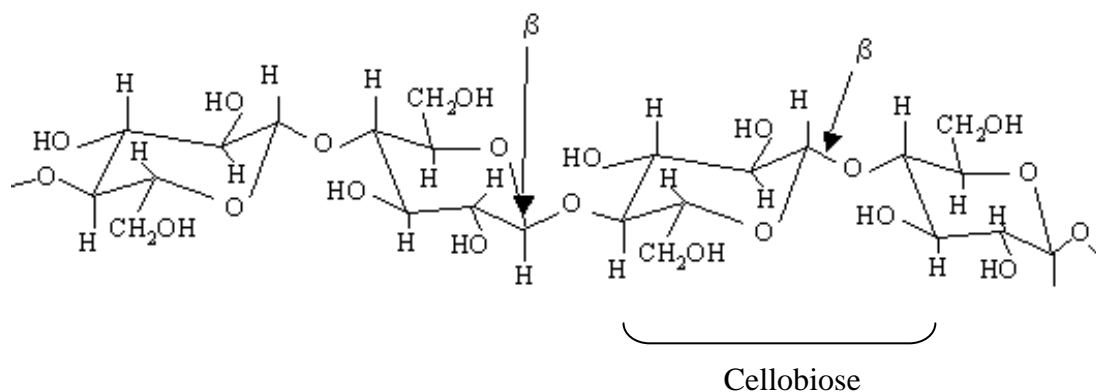


圖 1 纖維素之化學結構

表 1 常見之農業與一般廢棄物之纖維素、半纖維素與木質素組成比例 (Aiello et al., 1996; Sun and Cheng, 2002; Saha, 2003)

Lignocellulosic materials	Cellulose %	Hemicellulose %	Lignin %
Hardwoods stems	40-55	24-40	18-25
Softwood stems	45-50	25-35	25-35
Nut shells	25-30	25-30	30-40
Corn cobs	45	35	15
Grasses	25-40	35-50	10-30
Paper	85-99	0	0-15
Wheat straw	30	50	15
Sorted refuse	60	20	20
Leaves	15-20	80-85	0
Cotton seed hairs	80-95	5-20	0
Newspaper	40-55	25-40	18-30
Waste papers from chemical pulps	60-70	10-20	5-10
Primary wastewater solids	8-15	NA	24-29
Swine waste	6	28	NA
Solid cattle manure	1.6-4.7	1.4-3.3	2.7-5.7
Coastal Bermuda grass	25	35.7	6.4
Switch grass	45	31.4	12
Bagasse	33.28	22.58	6.15
Rice hull	35.62	11.96	15.38
Rice straw	35	25	12

註：NA 表示參考文獻未提供。

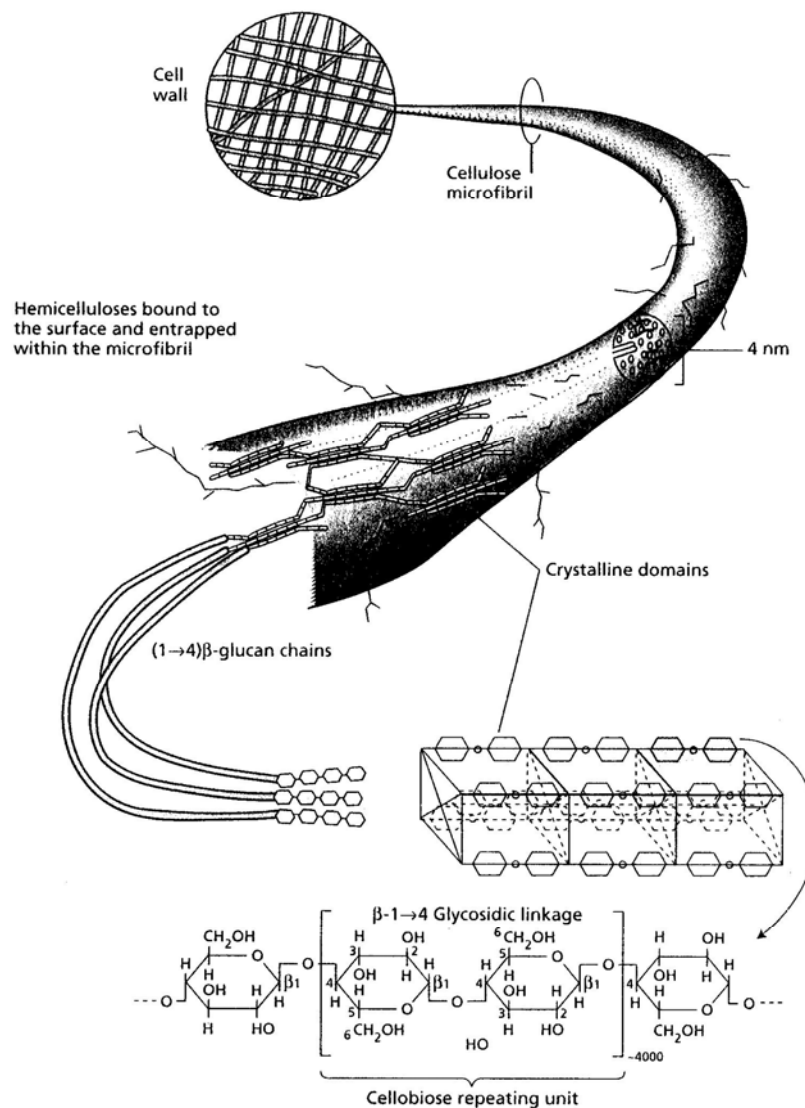


圖 2 微纖維之結構 (Cosgrove, 1998)

參考資料

Aiello, C.; A. Ferrer; A. Ledesma. 1996. Effect of alkaline treatments at various temperatures on cellulase and biomass production using submerged sugarcane bagasse fermentation with *Trichoderma reesei* QM 9414. *Bioresource Technology* 57:13-18.

Cosgrove, D. J. 1998. Cell Walls: Structures, Biogenesis, and Expansion. In: *Plant Physiology*. , In L. Taiz and E. Zeiger, eds. Sunderland: Sinauer Associates, Inc.

Saha, B. C. 2003. Hemicellulose bioconversion. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology* 30:279-291.

Sun, Y. and J. Y. Cheng. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology* 83:1-11.

