

中國造紙用植物纖維圖譜

喻誠鴻 李 澐 編著

科學出版社



中國造紙用植物纖維圖譜

(一. 現今工業上採用的種類)

喻誠鴻 李 雲 編著

科學出版社

1955年5月

內 容 提 要

本書就我國現今造紙工業中所採用的二十餘種原料植物的纖維以及其他在紙漿中可以找到的各種類型細胞的形態加以描述、繪圖及顯微攝影等，以供從事於紙漿檢驗工作者參考之用。並將在應用本圖譜時所必需具備的植物解剖學常識加以簡單而扼要的介紹，因此，又可供造紙專科學校教員及同學的參考。

中國造紙用植物纖維圖譜

(一. 現今工業上採用的種類)

編著者 喻 誠 鴻 李 溪

出版者 科 學 出 版 社
北京東四區帽兒胡同2號

印刷者 北 京 新 華 印 刷 廠

發行者 新 華 書 店

書號: 0181	1955年5月第一版
(專) 060	1955年5月第一次印刷
(京) 0001-1,640	開本: 787×1092 1/16
字數: 40,000	印張: 2 $\frac{6}{8}$ 插頁: 18

定價 九角三分

序

由於對紙漿中各種成分的識別和各種製漿用原料的鑑定在我國造紙工業中日感需要，所以中央輕工業部在 1953 年底即向我院提出要求，希望在最短的期間，編著一種造紙用植物的纖維圖譜，使工程技術人員在紙漿檢驗工作中有所參考。此事經科學院植物研究所與輕工業部北京工業試驗所雙方多次商討後，決定先就我國造紙工業中已採用過的植物種類進行研究，以供目前的需要。至於其他可用而尚未應用的植物，或新發現而有利用前途的種類，則留待此研究工作完成後，再行繼續蒐集、研究，以期完成一部內容較為全面的文獻，供造紙工業上的應用。

本圖譜所用的材料，均直接採用全國各造紙廠目前正在使用的原料。圖譜的目的既是為便利工程技術人員在檢驗紙漿工作中應用，所以在描述各種植物的解剖特徵時均以圖片為主，而僅輔之以簡要的文字記載；在文字方面，也力求通俗，避免使用過多的術語。為了幫助完全沒有學習過植物解剖學的讀者能使用這本圖譜起見，在本書的前面，作者等又將在使用本圖譜時所必需了解的植物解剖學知識，予以極簡單的敘述。這樣，一方面既便於使用，一方面也可供造紙專科學校教員與同學們參考之用。

我們這件工作，是在中國科學院植物研究所與輕工業部北京工業試驗所雙方共同主持下進行的。分工如下：具體的研究工作及出版等事宜由中國科學院植物研究所負責；材料的搜集與提供工程技術人員在紙漿檢驗中對纖維圖譜的要求等，則由北京工業試驗所進行。兩方面的聯系工作則由北京工業試驗所工程師王金林同志承擔。全部研究工作則交給中國科學院植物研究所喻誠鴻及李瀟兩位同志負責進行。由於這種工作的性質主要是屬於植物解剖學科的範疇，所以北京工業試驗所又調撥幹部一名，直接參加工作；並期通過工作而能掌握有關這方面的知識，以便加強今後兩個機構進一步的合作。

在研究工作中的顯微製片及著墨繪圖等工作，大部分係由中國科學院植物研究所常永禎同志擔任，纖維細胞的測定則係北京工業試驗所王克和同志進行。

由於時間短促，欠妥之處在所難免，尚希讀者多多提供意見，以便今後在研究工作中得以改進。

中國科學院植物研究所

輕工業部北京工業試驗所 一九五四年十二月

目 錄

第一編 通論	1
一 緒論	1
二 細胞與細胞壁的構造	2
I. 細胞壁的一般構造	2
II. 細胞壁的化學組成	5
III. 細胞壁的細微結構	6
三 植物的各種組織	11
I. 表皮組織	11
II. 薄壁組織	13
III. 厚角組織	13
IV. 厚壁組織	13
(1) 纖維的結構	14
(2) 纖維細胞的起源與發育	15
V. 韌皮部	17
VI. 木質部	17
(1) 針葉樹次生木質部的構造	18
(2) 闊葉樹次生木質部的構造	20
第二編 各論	23
一 木材類原料	23
I. 針葉樹木材	23
(1) 松屬木材	23
(2) 雲杉屬木材	24
(3) 落葉松屬木材	25
(4) 冷杉屬木材	26
II. 闊葉樹木材	27
(1) 楊屬木材	27
(2) 樺屬木材	27

(3) 椴屬木材·····	28
二 非木材類原料·····	29
I. 草類原料·····	29
(1) 稻·····	29
(2) 小麥·····	30
(3) 莠麥·····	31
(4) 高粱·····	31
(5) 甘蔗·····	32
(6) 蘆葦·····	32
(7) 荻·····	33
(8) 龍鬚草·····	34
(9) 芨芨草·····	34
(10) 南竹·····	35
(11) 慈竹·····	35
II. 韌皮類原料·····	36
(1) 亞麻·····	36
(2) 大麻·····	36
(3) 苧麻·····	36
(4) 棉·····	37
(5) 三桠·····	37
(6) 桑·····	37
(7) 構·····	37

第一編 通論

一 緒論

在造紙纖維工業中，所採用的原料都是植物性的。遠在一千八百多年前，我國古代的學者、造紙術的發明人——蔡倫就說過：一切植物都可用來造紙。雖然如此，但並不意味着任何植物都是適宜的造紙工業原料。事實上，只有那些含有多量長度較大的纖維狀細胞的植物，同時它們的胞壁中的纖維素含量較高而其他不利於造紙加工的雜質（如樹脂、木質素等）含量較低者，才是良好的造紙原料植物。當然，棉、麻等工藝作物是最理想的材料，但這些植物同時又都是紡織工業中的主要原料，且價格昂貴，因此，在十九世紀以前，世界各國多以廢棄的棉、麻製品為造紙原料。

人類文化的進展，對紙張的需要量日增，僅靠破布舊麻為原料已感不足。於是，在世界各國的造紙工業中都開始去尋找新的原料了。1880年，法國始創用穀類作物的稈與破麻布混合造紙。至1884年，德國首先採用了木材為造紙的原料，因此便給造紙工業開闢了豐富的原料源泉。直到今天為止，針葉樹木材一直被公認為主要的而且是較好的造紙原料。

就目前世界各國造紙工業中所用的原料而言，其中75%均為木材；而草類、廢紙、破布及麻類等不過佔25%。但我國森林資源既有限，而在國家大規模經濟建設的時期，需用木材量又極大，因此，在造紙工業上便必須採用其他的原料來代替木材了。

目前，我國各造紙廠採用草類原料所佔的比重已日見增長，種類也比較繁多。為了要使得所生產的紙張在質、量方面都能滿足人民的需要，則通過各方面的科學研究來選取合宜的造紙原料，已成當前的急務。而且這種研究不僅具有重大的經濟意義，同時在科學研究上也是有一定的價值的。

造紙用植物的組織結構的研究，不僅可供鑑定製漿原料種類之用，同時也可以根據各種原料植物的組織結構來判斷它們在工業應用上的價值及其利用前途。這本圖譜的編著只是在這方面的研究做一個開端而已。我們深信，由於國家經濟生活與文化生活的不斷提高，對於造紙用原料植物的技術解剖研究，也必將獲得不斷的成就，以適應客觀的需要。深盼對這一學科的研究人員團結一致，共同努力來進行更深入

與更廣泛的研究,以便更好地為生產實踐而服務!

二 細胞與細胞壁的構造

細胞是構成植物有機體的基本單位,是由原生質體的活質所組成的。原生質體又是由細胞質、細胞核、質體、粒線體與各種內含物所組成。原生質體位於細胞壁之內,而細胞壁則又為原生質體活動的產物。它是由纖維素等物質所組成的;同時它也是造紙工業上所直接利用的材料。細胞的形狀、大小、機能等都是極多式多樣的。關於細胞的發生與詳細構造及其生物學特性等,都是比較複雜的問題,與紙漿檢驗的直接關係不大,所以在這裏不預備多涉及。至於細胞壁的構造,與我們的工作關係最為密切,所以應較詳細地加以說明。

I 細胞壁的一般構造

種子植物的細胞,除了性細胞外,都是具有細胞壁的。植物的細胞壁是一種複雜的結構物,它是由許多層在結構上和化學性質上都不相同的層次所組成。根據它們的發生和構造,細胞壁可分三個最主要的部分,即:胞間層、初生壁和次生壁(圖1)。胞間層把相鄰細胞的初生壁黏合起來,次生壁則位於初生壁的內部,直接與胞腔相鄰接。

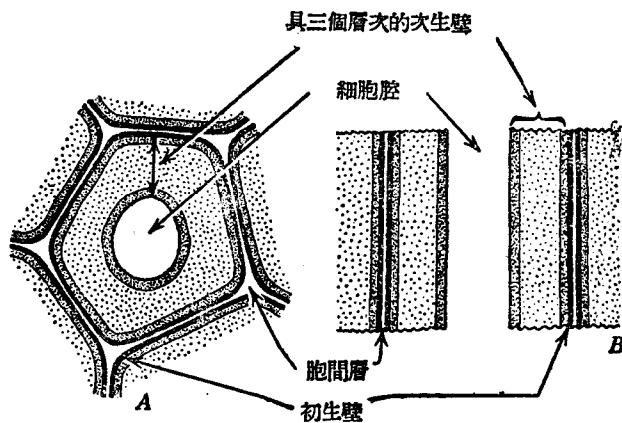


圖1 細胞壁的結構: (A)橫切面; (B)縱切面。

胞間層——是一種無定形的膠體物質,主要是由果膠質所組成。它的光學特性是各向同性的,在木材中,胞間層一般均木質化。

初生壁——是在細胞形成時最早形成的一層胞壁。它是由纖維素及果膠酸化合

物所組成。此外還含有不同量的非纖維素多醣類及半纖維素類等。同樣，在木材中，它也是木質化的。在光學特性上則與胞間層相反，為各向異性的。

次生壁——是在細胞體積停止增長後，在初生壁上所增添的一層胞壁。它是由纖維素所組成的，或是由纖維素、非纖維素的多醣類及半纖維素類等以不同的比率混合所組成的。由於次生壁中的纖維素含量高，所以它具有高度各向異形性的光學特性。

一般說來，管胞及纖維細胞的次生壁具有三層很明顯的層次（見圖 1）。在這些層次之間，其物理性質與化學性質均存在着一定程度的差異。

在某些植物的管胞或導管的次生壁上，除了有上述的三個明顯層次外，還有一層很薄的、螺旋帶狀的加厚，稱之為螺旋加厚（見圖版 VIII，圖 6—8）。也有少數的解剖學家把螺旋加厚稱之為三生壁。不過三生壁這個名詞在現今的一般解剖學書上多不採用，而認為它是次生壁中的一部分。

次生壁的加厚並不是很均勻的，往往在加厚的過程中有很小的一部分尚未加厚，因此在成熟的次生壁上便遺留下了許多的凹穴，這種凹穴稱為紋孔（圖 2—5）。紋孔的構造、大小、排列與形狀等都是多式多樣的。但在某一種類型的細胞中，卻保持着有固定的形式。因此，我們可以根據紋孔的特性來區別各種不同類型的細胞。

在相鄰兩個細胞的胞壁中，每一個紋孔都具有一個與它相對排列的紋孔。這兩個相對排列的紋孔形成了在構造上與機能上的單位，稱之為紋孔對（圖 2A，圖 3，圖 4A—C）。

紋孔的構造——組成紋孔的兩個主要部分為紋孔腔與紋孔膜。紋孔腔為次生壁上未曾加厚的整個空間，而紋孔膜則係一對紋孔之間的隔膜。從紋孔腔通至細胞腔的開口則名之為紋孔口。紋孔膜係由兩個細胞之間的胞間層與兩個細胞各自一層的初生壁組合而成的。

根據紋孔的結構，可以把紋孔分為兩類，即單紋孔和具緣紋孔。

單紋孔——凡紋孔的紋孔腔為等徑

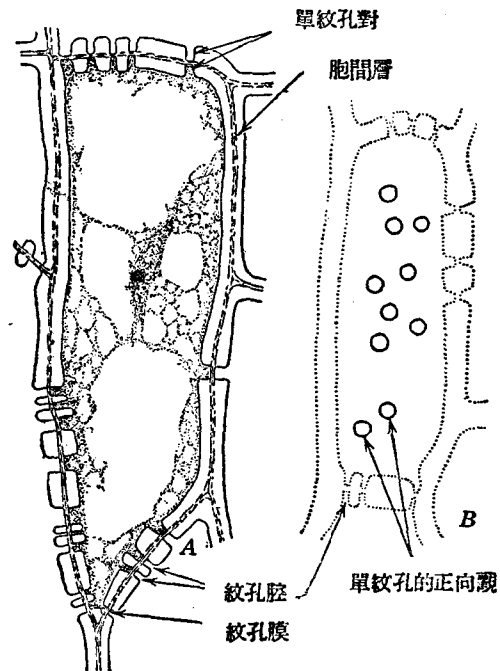


圖 2 單紋孔對(A)；及單紋孔的正面觀(B)。

的圓柱形或近於等徑的圓柱形者，稱為單紋孔(圖 2A—B)。

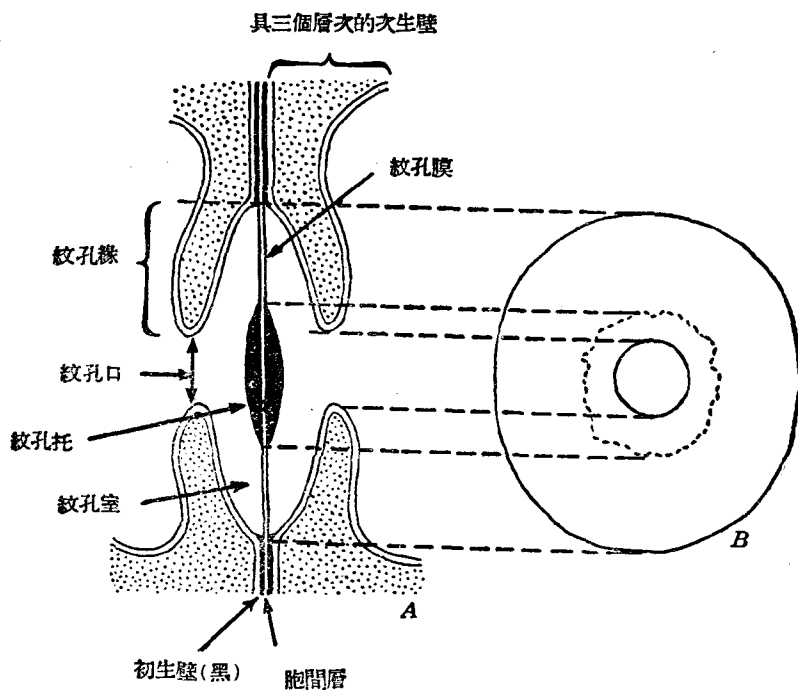


圖 3 具緣紋孔對(A)；及具緣紋孔的正面觀(B)。

具緣紋孔——與單紋孔主要的區別為有一部分的次生壁虛懸在紋孔腔上。我們稱虛懸在紋孔腔上的這一部分次生壁為紋孔緣，稱這種具緣的紋孔為具緣紋孔。在具緣紋孔紋孔膜中央的特別加厚部分，則稱為紋孔托。在較厚的次生壁上，具緣紋孔的紋孔腔又可分為兩部分：靠近紋孔膜的腔道較寬一端名為紋孔室，與胞腔相鄰而

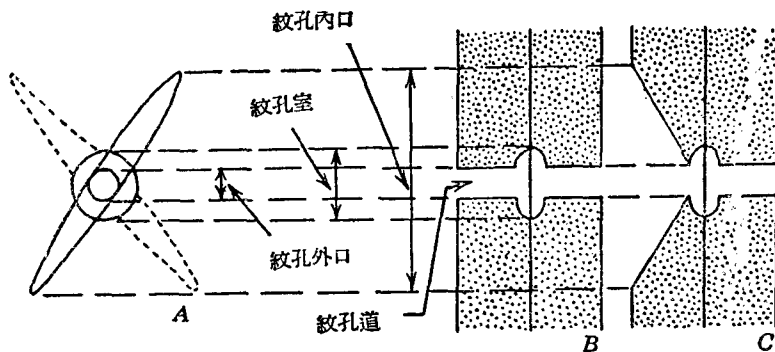


圖 4 厚次生壁中具緣紋孔對的構造

腔道較窄的一端則名為紋孔道。紋孔道通向細胞腔的開口名之為紋孔內口，通向紋孔室的開口為紋孔外口(圖4—5)。

由於紋孔分為上述兩種不同的類型，因此，由兩個單紋孔所組成的紋孔對稱為單紋孔對，由兩個具緣紋孔所組成的紋孔對稱為具緣紋孔對，由一個具緣紋孔與一個單紋孔所組成的紋孔對稱為半具緣紋孔對。

紋孔在胞壁上排列的方式也是多式多樣的。一般說來可以分為三種主要的類型，即梯狀排列、對列與互列(圖6 A—C)。我們往往可以根據導管壁上的紋孔排列類型來鑑定木材的種類。

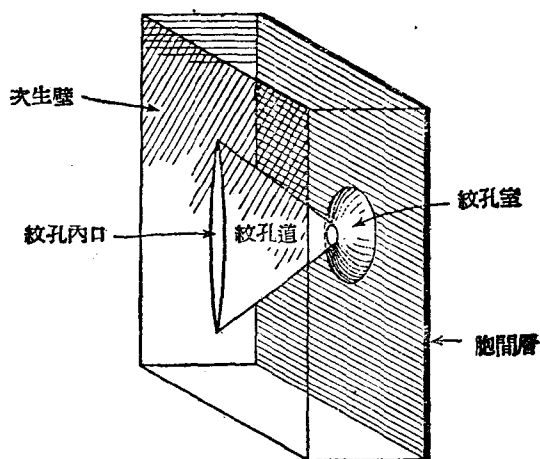


圖5 厚次生壁中具緣紋孔的立體構造

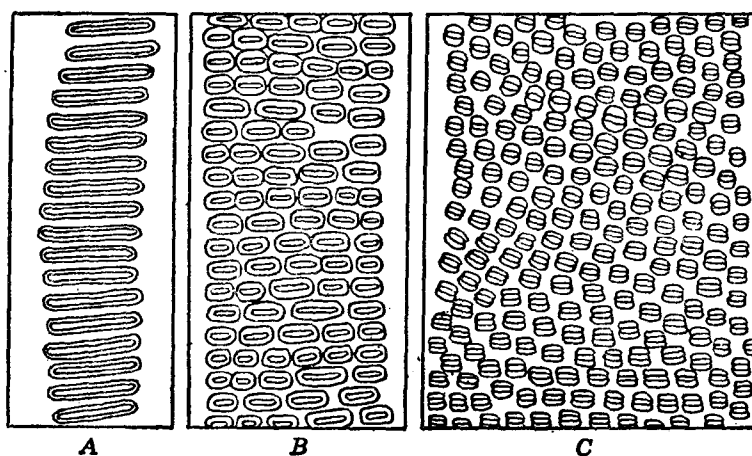


圖6 紋孔的幾種排列方式：(A)梯狀排列，(B)對列與(C)互列。

II 細胞壁的化學組成

在植物細胞的細胞壁中，最主要的化學組成為纖維素。它構成了細胞壁的骨架。除纖維素外，還有木質素、非纖維素多醣類、半纖維素類及果膠質等化合物。脂族化合物、角質、木栓質與蠟質等也存在於某一些類型細胞的胞壁中。特別是在植物體外部與外界環境相接觸處的細胞的胞壁中，如表皮細胞的胞壁中，含上述各項物質較多。

纖維素——是一種具有相當親水性的晶質化合物。它的分子為鏈狀的結構，是由100個以上的葡萄糖基被氧橋結合而成的。

非纖維素多醣類——與纖維素關係較近者有多縮甘露醣、多縮半乳糖及多縮木糖等。

果膠質——乃多水解乳糖醛酸的衍生物，一般有三種類型，即原果膠、果膠及果膠酸。半纖維素類與果膠質化合物的成分之間有某些共同之點，但它們之間的溶解度卻是不同的。果膠類化合物為無定形的膠體物，有可塑性，並且是親水的。

木質素——和纖維素一樣，木質素也是胞壁的最主要的成分之一。雖然經過了一百多年的研究，但其化學特性，直到今天，還沒有徹底的了解。它是一種含碳量很高的有機化合物。在胞間層、初生壁及次生壁中都有存在。木質素最初呈現於胞間層，而後向心地發展到初生壁中，最後及於次生壁中。在木材中，胞間層及初生壁の木質素含量一般均高於次生壁中所含有的。

其他，如單寧、樹脂、脂類及礦物質等也可以在細胞壁中含有。例如，在草類植物的細胞壁中多含有矽。

由於植物細胞壁的結構及其化學組成與紡織工業及造紙工業的加工過程有密切的關係，因此，有關植物細胞壁的結構及其化學組成等方面的理論研究，在近數十年來有了很大的進展。在研究細胞壁的結構時，不僅應用了顯微鏡下的觀察來說明它的一般構造，同時還應用了偏振光顯微鏡、螢光顯微鏡、電子顯微鏡及X射線等工具來研究它的細微結構。因此，關於細胞壁的細微結構，到今天可以說基本上已經搞清楚了。在下面，我們將有關這方面的研究結果概括地加以介紹。

III 細胞壁的細微結構

纖維素是構成植物細胞壁的基本物質，這是我們所共知的。而纖維素則係由長度不等的鏈狀纖維素分子所組成。這些在植物細胞壁中的纖維素分子鏈並不是隨意地分佈着的，而是平行地排列着聚合成束的。這成束的纖維素鏈狀分子的聚合，稱之為分子組纓（micelles）。組成分子組纓的纖維素鏈狀分子是由數目衆多的葡萄糖基被氧橋所聯結而成的。在每一個葡萄糖基之間，都保持着一定的距離，有規則地排列着。因此，這種由鏈狀纖維素分子所組成的束——分子組纓，可比之為一種晶體。在此晶體中，各個組成單位係對稱地排列着的。

過去，纖維素分子組纓被認為是在那分子組纓間的（intermicellar）物質中排列

整齊的單獨單位。這個概念是拉杰里(Nägeli)在將近一百年前所提出的。但現今流行的觀點,則認為纖維素分子束是以長度較大的、延伸於束外的分子鏈彼此結合而成的,並形成一種具孔的聯貫系統,稱之為分子組縷系統(micellar system)。分子組縷

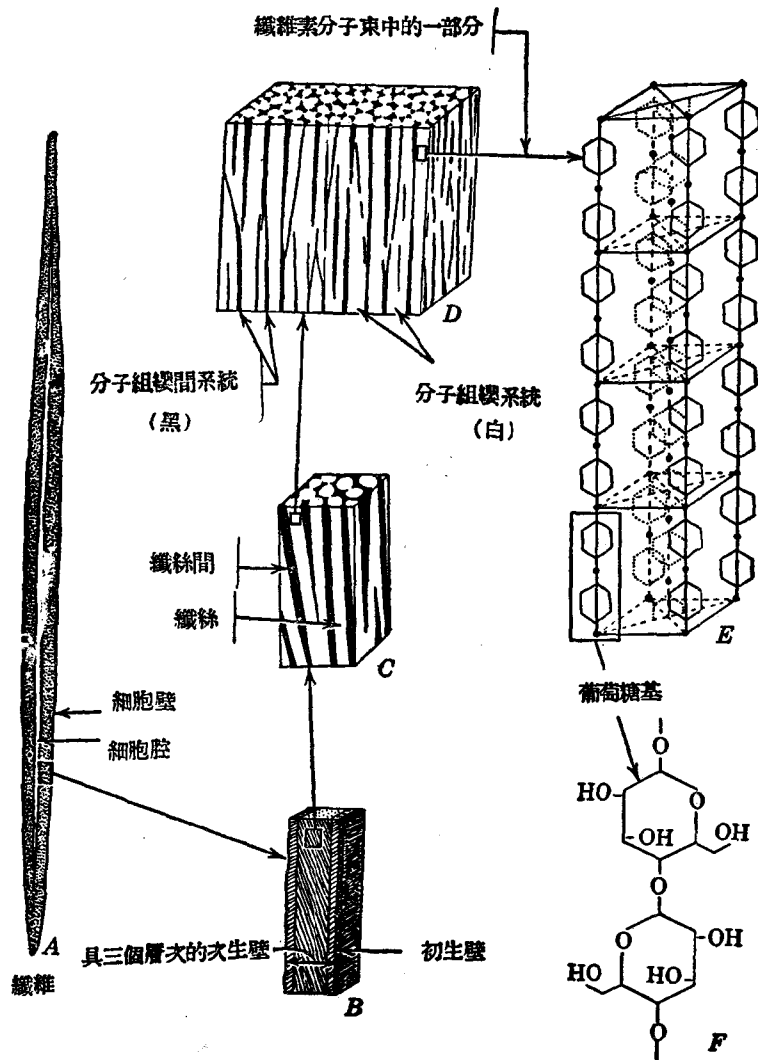


圖 7 次生壁細微構造的一般概念: (A)纖維細胞; (B)纖維細胞的胞壁一部分的放大,這一部分的細胞壁係由初生壁及次生壁所組成,從這裏又可以明晰地看出次生壁係由三個層次所組成的; (C)係組成次生壁的中間一層的高度放大,它是由被纖維素所組成的纖維系統(白),與被非纖維素物質所組成的纖維間系統(黑)所組成; (D)纖維系統的超顯微鏡結構; (E)纖維分子束中的一部分,示纖維素分子鏈在束中的排列; (F)示纖維素分子鏈的最基本單位——兩個葡萄糖基被氧橋所聯結。

系統與另一個系統——分子組纒間系統 (intermicellar system) 是彼此地相互交織着的。構成分子組纒間系統的基本物質不是纖維素，而是纖維素以外的某些組成胞壁的物质。

根據現今一般流行的關於纖維素分子組纒的概念看來，分子組纒系統中的分子組纒，並不是指單位的分子組纒，而是指在骨架中多數分子組纒的綜合。中等長度的纖維素分子鏈，在骨架中組合成晶體點陣。

利用X射線來研究纖維素的細微結構，證明了它具有晶體的特性。由於X射線的波長較短於纖維素分子的大小，因此，當用一束X射線來衝擊一團纖維素時，大部分的射線均直接穿過，只有很少的一部分衝擊在原子或一羣原子上。這一小部分衝擊在原子或原子羣上的射線，便產生了衍射現象。如果用感光片把它記錄下來時，便能獲得一幅衍射圖案。我們便可以根據用X射線從不同角度來衝擊同一團纖維素所獲得的衍射圖案來擬想纖維素分子羣結構的立體形態，如圖 7. E 所示，係屬於空間點陣式的結構類型。

由於在不同的平面上纖維素空間點陣各點間的距離有所不同，因此，纖維素分子組纒的各組成部分係各向異形性地分佈着的。各向異形性乃纖維素的重要物理特性之一。當纖維素膨脹時，在與分子組纒長軸成直角的方向，其膨脹度較與長軸相平行方向的膨脹度要大些。從這一點也可以證明纖維是各向異形性的。纖維素的各向異形性特性用偏振光顯微鏡也可以看出來。因為在光學上，各向異形性的物質均有雙折射現象。用偏振光顯微鏡來觀察纖維素時，當起偏振器與檢偏振器這兩個稜鏡成直角時，光線通過與分子組纒長軸成直角的方向時光最明亮，如通過與分子組纒長軸相平行的方向時則完全獲得了相反的結果。因此，我們常常可以利用偏振光顯微鏡來研究細胞壁的細微構造了。

總括起來講，根據X射線的研究，我們知道，纖維素是構成植物細胞壁的最主要成分之一，是植物細胞壁的骨架。它是由纖維素分子組纒系統與非纖維素分子組纒間系統交互地組合而成的（圖 7 D）。這種結構，並不是我們能夠直接觀察到的結構，而係根據X射線的衍射現象推擬出來的。

從顯微鏡下所能觀察到的植物細胞胞壁的細微結構，如圖 7 C 所示，係由纖維系統 (microfibrillar system) 與纖維間系統 (microcapillary system) 兩者相互地交織所組成的。纖維系統係由許多極細微的纖維所組成的一種具孔的纖維素間架。纖維間系統是由除了纖維素以外的各種組成細胞壁的成分，如木質素、角質、蠟質、半纖維

素類、果膠質、某些有機酸、甚至還有礦物質的晶體等所組成的。我們可以採用高度木質化的較厚的次生壁為材料，用化學處理來闡明纖維絲與纖維絲間兩體系的關係。如果我們用化學藥品將非纖維素物質完全溶去後，所遺留下來的是由純纖維素所組成

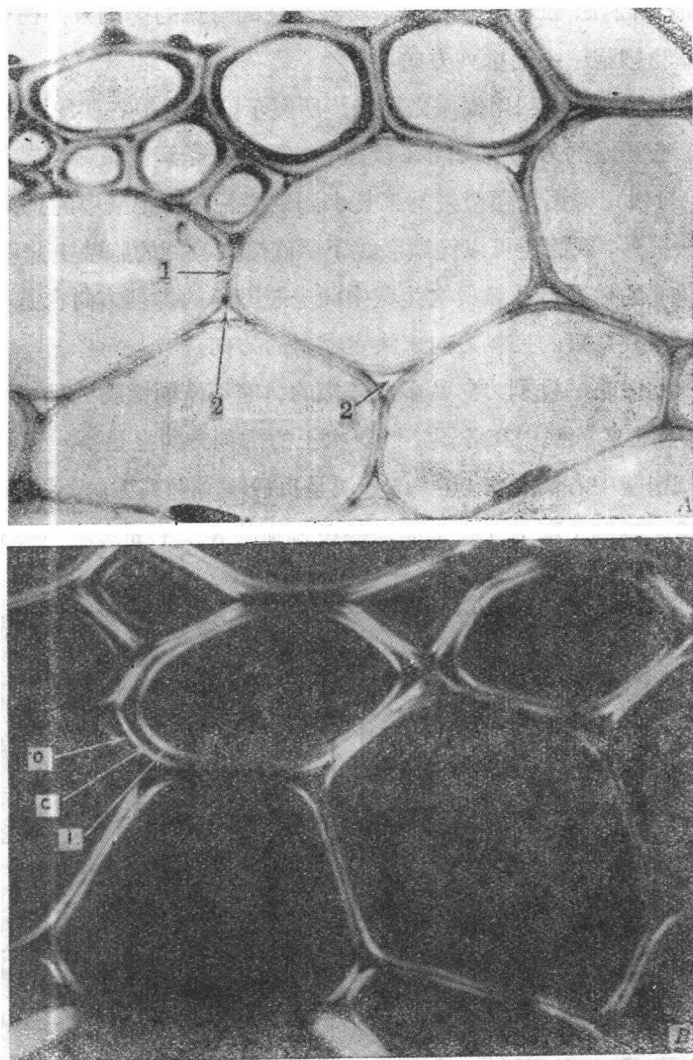


圖8 在普通顯微鏡下 (A) 與偏振光顯微鏡下 (B) 所顯示的胞壁結構。在圖A中形體較大的為薄壁細胞，形體較小的為纖維細胞。這些細胞都具有次生壁。在薄壁細胞中，初生壁與次生壁因緊密地結合在一起，所以不能把它們分辨出來。在纖維細胞中，初生壁與次生壁的最外一層溶合在一起。在兩個細胞間的黑線係胞間層。圖(B)示初生壁與次生壁的雙折射現象。胞間層為黑色，因為它是各向同形的。(i——次生壁的内層，c——次生壁的中層，o——次生壁的外層加初生壁)

的骨架。相反地如將纖維素溶去後，所遺留下來的則為由非纖維素物質所組成的一個骨架。這兩個骨架的形態，正如胞壁結構的一張正像與一張負像一樣。

利用電子顯微鏡的觀察，使我們了解到在纖維中，分子組纒的排列是與纖維的長軸近於平行的。因此，根據在顯微鏡下所觀察到的纖維的排列方向便可以知道纖維素分子鏈在植物細胞壁中的排列方向了。

前面已經講過，可以利用偏振光顯微鏡所顯示的胞壁中各個層次的雙折射強弱來決定纖維素分子鏈的方向。既然在纖維中纖維素分子鏈的長軸與纖維的長軸近於平行，我們也可以用偏振光顯微鏡為工具來測定纖維在細胞壁中的排列方向。除了用偏振光顯微鏡外，我們還可以從顯微鏡下所直接觀察到的胞壁上條紋的方向來決定它。具緣紋孔的紋孔口長軸與次生壁中間一層纖維的排列方向也是一致的，因此，我們也可以利用紋孔口的長軸方向來決定纖維的方向。

纖維在細胞壁上的排列方向是多式多樣的。它不僅因植物的種類不同而有所不同，即在同一細胞的胞壁中在各個不同層次上的排列方向也是不一致的。在顯微鏡下所顯示的細胞壁中各個層次，有一部分便是由於纖維排列方向不同所造成的。

今以棉纖維為例（圖9）來說明纖維在細胞壁各個不同層次上排列方向的多樣性。

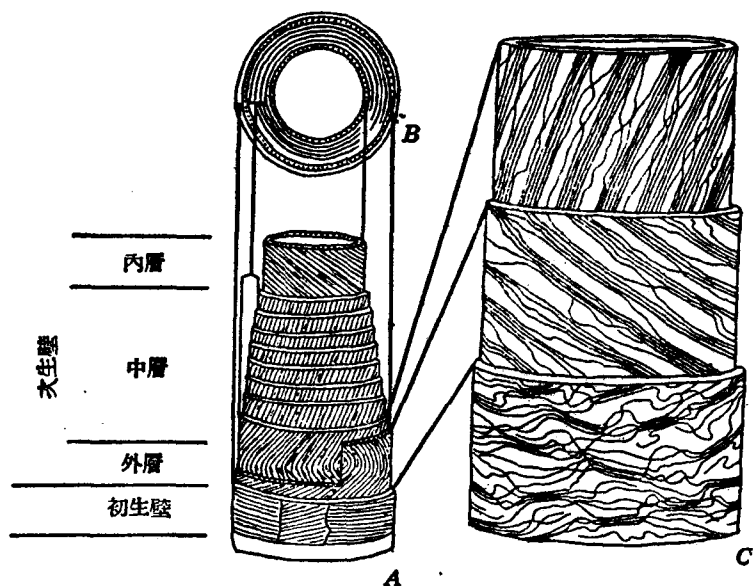


圖9 纖維在棉纖維細胞壁各層次的排列方向

纖維在細胞壁上的排列方向與細胞壁的光學性質及其他的物理性質有着密切的

關係。例如，當纖維在胞壁中的排列方向與細胞的長軸平行時，在橫切面的薄片上不顯示各向異形的特性。在乾燥時細胞壁也不縱向收縮。如與細胞的長軸成直角時，則在橫切面的薄片上顯示很強的雙折射現象，在乾燥時有縱向的收縮。我們推想，纖維在細胞壁各層次中的排列方向與紙張的力學性質等一定有着密切的關係，究竟它們之間的具體聯系如何，正是值得今後去研究的問題。

三 植物的各種組織

從植物解剖學的觀點來看，植物的組織是指一種連續的、有組織的細胞羣而言。這一羣細胞的起源與主要的機能基本上是一致的。縱然在植物的同一組織中，細胞的形狀同機能可以有很大的分歧，但構成這一組織的細胞卻一定是連續的並且構成了植物體在結構上的一部分。

關於組織的分類方法，有各種不同的方式。有的根據它們在植物體中的位置為分類的基礎，也有的根據構成組織的細胞的起源、種類、機能及發育的時期等為分類的依據。在這裏，我們所採用的分類方法並沒有一個獨立而完整的體系，只是從便於了解與使用這本圖譜的關點出發，來加以分類和說明的。凡與此關係較遠的各種組織，如分生組織等均略去。

I 表皮組織

表皮乃指植物初生體最外表的一層(或多層)細胞而言。它是由表皮細胞、構成氣孔的保衛細胞與副衛細胞等所組成。在表皮上，也時常有毛存在。

表皮細胞的形態與排列方式以及氣孔的構造與數量等也因植物的種類的不同與在植物體的部位的不同而有所不同。在這裏，我們僅將草類的表皮組織加以介紹，其他各種植物的表皮組織與紙漿的關係較少，故從略。

1. 表皮細胞——如圖 10 所示，在禾本科植物中，表皮細胞有兩種，一種較長的叫長細胞，另一種較短的叫短細胞。短細胞又分為兩種，一種名矽細胞(silica cell)，另一種名木栓細胞(cork cell)(圖 10)。矽細胞中幾乎都充滿着二氧化矽，而木栓細胞則具有栓化的胞壁，且常常含有固體的有機物質。在植物體某些部位的短細胞上，有時形成毛狀或剛毛狀的凸起物。一般說來，在禾本科植物的表皮上，多為一個長細胞與兩個短細胞交互地排列着的。但有時也因植物的種類不同或在同一植物體的部位不同，長短細胞的配列方式也不相同。雖然如此，但每一種禾本科植物的表皮細胞卻