

中國科學院土木建築研究所研究報告

第 7 號

木材性質的研究

（二）

黃達章 魏亞白同仁

科學出版社

中國科學院土木建築研究所研究報告

ACTA INSTITUTI CONSTRUCTIONIS ET ARCHITECTURAE
ACADEMIAE SINICAE

7

木材性質的研究

(二)

黃達章 魏亞白同仁



科學出版社

1957年4月

內 容 提 要

本書包括三個專題的研究報告,第一篇通過白皮榆木材內部構造的研究,着重闡明該種木材的開裂以及容重、收縮和強度的變化原因,並指出本問題的研究方向。第二篇全面地敘述了白皮榆木材的開裂性、腐朽性及基本性質,為合理和擴大利用白皮榆木材提供依據。第三篇提出我國大興安嶺林區珍貴樹種的樟子松木材的基本性質指標,並與目前常用的幾種木材和蘇聯產樟子松加以比較,供工程設計參考。

本書適用於林業和木材的研究、教學、技術人員及工程設計人員。

木 材 性 質 的 研 究 (二)

著 者	黃達章 魏 亞 白同仁
編輯者	中國科學院土木建築研究所
出版者	科 學 出 版 社 北京朝陽門大街117號 北京市書刊出版業營業許可證出字第061號
印刷者	上海中科藝文聯合印刷廠
總經售	新 華 書 店

1957年4月第一版	書號:0735 字數:37,000
1957年4月第一次印刷	開本:787×1092 1/16
(滬)0001—4,750	印張:2 插頁:2

定價:(10)0.46元

目 錄

白皮榆木材的構造與物理力學性關係的研究·····	黃達章 魏 亞 白同仁 (1)
白皮榆木材的性質和利用問題·····	白同仁 (21)
樟子松木材的物理力學性·····	魏 亞 (29)

白皮榆木材的構造與物理力學性 關係的研究

黃達章 魏亞白同仁

木材是一種構造極其複雜和不均勻的各向異性材料，其性質的變化與構造的特性有密切的關係。這種關係，在很早以前已為一些木材學者所注意。隨着木材利用事業的發展和要求，特別在近幾十年來，就所發表的一些研究報告和論文來看，已經逐漸地證實了木材物理力學性與其各種解剖分子的容積量、分子分佈情況、分子大小及細胞壁亞微觀構造與化學組成等的關係。在蘇聯的一些木材學教程及專著中，已有論述這方面的問題（С. И. Ванин, 1949; А. А. Яценко-Хмелевский, 1954），以及提出木材工藝解剖學這一新的學科作為材性研究發展的新方向（В. Е. Вихров и В. Е. Москалева, 1953），都不是偶然的。無疑地木材構造的知識，在深入地研究木材加工與利用中，木材內部各種現象及其發生的原因與發展的規律，達到合理利用木材，也將起着重大的作用。

在木材構造與物理力學性關係的研究工作中，以往許多研究者曾企圖以年輪的寬度或晚材率來作材性的指標。很早以前，在實踐中，曾認為針葉材的年輪愈窄，則其強度愈大，但是根據多數的研究（Л. М. Перельгин, 1932; И. С. Мелехов, 1934; Н. И. Стрекаловский, 1936, 1939; В. Е. Москалева, 1939），認為年輪寬度與木材物理力學性的關係是不大的。在闊葉樹環孔材中，某些學者確認年輪寬度可以作為木材物理力學性的指標（С. А. Богословский, 1915; Л. М. Перельгин, 1932, 1933）。在散孔材方面，則還沒有發現明顯的關係（Л. М. Перельгин и А. Х. Певцов, 1934; В. Е. Вихров, 1949 а）。而對於晚材率作為材性指標的研究中，某些研究者（А. И. Яхонтов, 1913; Е. И. Савков, 1930; Л. М. Перельгин, 1932; И. С. Мелехов, 1934; Н. И. Стрекаловский, 1936; В. Е. Вихров, 1938）曾發現年輪中晚材率愈大，其強度指標亦愈高；但亦有人認為松、落葉松及雲杉木材的晚材率（В. Е. Москалева, 1939; Н. И. Стрекаловский, 1949），甚至是環孔材榆木的晚材率（В. Е. Вихров, 1949 б）都不能作為強度的指標。

在微觀構造方面,大多數的學者如 А. В. Савина 及 Л. М. Перельгин (1936); В. Е. Москалева (1939), В. Е. Вихров (1947, 1949 в) 等,均認為纖維或假導管胞壁的厚度與表面空隙率,為決定木材物理力學性的重要指標。В. Е. Вихров (1953) 還指出了木材分子的容積量在決定材性中也有很大的意義。對於木材收縮的問題,Л. М. Перельгин (1939) 認為木質線有很大的作用,而 В. Е. Москалева (1951) 在她的研究中說明了木材的收縮不僅與胞壁厚度和木質線有關,同時亦與細胞在乾縮時形狀的變化有關。

總結這些研究的結果,使我們清楚地看到:單從宏觀構造來解決材性的問題,有許多現象已經得不到解釋了,因而深入到微觀構造是必要的,並且有許多學者 (В. А. Баженов, 1949; Л. А. Иванов, 1933, 1935; В. Е. Москалева, 1940; Ю. М. Иванов, 1935; В. Е. Москалева, 1940, 1948) 已經從胞壁的亞微觀構造來揭露木材破壞時的特性。顯然這方面的工作是逐步深入的,但是木材是一種極其複雜的有機材料,因而影響材性的各種構造因子也是極其複雜地、錯綜地起着不同的作用,因此我們認為只有結合木材的宏觀、微觀,甚至是亞微觀構造從各方面綜合地來研究木材的基本性能,才能進一步揭露材性與木材構造間的關係。而以微觀構造特性為基礎,來補充宏觀構造在判定材性的應用上,則更有其實際意義。

白皮榆為我國東北林區闊葉樹中的一個主要樹種,分佈遍及吉林、黑龍江與遼寧省東部;林木蓄積不少,過去對其性質很少了解,利用亦少,近年來雖已大量用作枕木,但是用途還是非常狹窄的,而且由於開裂情況嚴重,又大大地影響了它的使用質量。1954年我們曾針對開裂榆木枕木,研究其加固處理的方法,初步解決了開裂榆木枕木的利用問題。1955年為了擴大榆木的使用範圍,對白皮榆木材的物理力學性亦進行過研究,但是為了進一步探求其開裂原因及材性的變化規律,則結合其內部構造來了解其性質,以便為擴大該種木材的使用範圍提供依據仍屬必要。

* * * * *

本試驗用材為小興安嶺的白皮榆 (*Ulmus propinqua* Koidz.);標準木於1955年3月採自伊春烏敏河,共10株,胸徑33—50 cm,均生長在同一立地條件的河岸谷地。所有試件取自距地面1.4—1.5 m、離髓心10—16 cm的幹材上。

微觀觀察所用切片以海登漢氏鐵礬蘇木精及番紅的酒精溶液染色。顯微鏡下的觀察,白皮榆木材屬於環孔材類,早材中導管1—3列,多為單獨管孔,間或聚成管孔鏈;在導管周圍有少量的傍管木薄膜細胞,並雜有纖維管胞。早材之後,導管逐漸變小,在晚材中,導管常聚成在弦向不連續的波浪形管孔團,其周圍為大量厚壁的纖維管胞所包

圍,並有離管木薄膜細胞星散其間。木質線則貫穿整個年輪的早材和晚材部分。從白皮榆木材的整個構造來看,由於每一個年輪中早材和晚材兩部分有着顯著的差異,所以它的年輪分界是十分明顯的,甚至在肉眼下也能分辨(圖1)。此外,白皮榆木材年輪寬度相差也很大,最寬的有達 5.8 mm (每厘米 1.7 輪),而最窄者,只有 0.2 mm (每厘米 50 輪),隨着年輪寬度的變化,年輪的構造有顯著的差異(圖2)。

爲了進一步了解白皮榆木材的構造情況,在木材切片的橫切面上測定木材分子的直徑及胞壁厚;同時並以 Jeffrey 法分離木材分子,以甲基紫 1% 的水溶液染色,在分離片中測定木材分子的長度。導管分子的長度係按其全長測定 (L. Chalk and M. M. Chattaway, 1934),分子容積量及表面空隙率則以線測法 (А. А. Яценко-Хмелевский и Н. Н. Брегадзе, 1939) 在切片的橫切面上投影測定。

從表 1 的測量結果可以看出,早、晚材間木材分子的大小是有差別的。纖維管胞的長度與胞壁厚度,一般晚材大於早材;而導管的直徑、胞壁厚度以及纖維管胞的直徑,則早材大於晚材。此外,導管直徑還因年輪寬度的變化而有較大的差異,年輪寬度變窄,其直徑亦隨之而變小。

白皮榆木材分子的容積量,不僅早、晚材間的差異很大,同時隨着年輪寬度的變化亦有變化(表2)。纖維管胞的容積量一般晚材大於早材,同時隨着年輪寬度的增大而增大,導管情況則恰與此相反。故寬年輪者,纖維管胞容積量大而導管容積量小,窄年輪者,導管容積量大,而纖維管胞容積量小。木質線雖在早、晚材中無甚差異,但因年輪寬度的不同亦有變化,寬年輪者平均較窄年輪者大 40%。

至於早材和晚材的表面空隙率也是不相同的。由於晚材中纖維管胞含量多、胞壁厚而直徑小,故其表面空隙率一般均較早材爲小。但隨年輪寬度的變化,從寬輪到窄輪,早、晚材的表面空隙率有逐漸增大的趨勢(表3)。

此外,除上述早、晚材兩部分中的分子大小、分子分佈情況、表面空隙率等有顯著的差異外,年輪中早材和晚材的含量也有很大變化的。據觀察,一般與年輪的寬度有關,年輪中早材和晚材含量有隨年輪寬度的增大而增加的趨勢;但是在增長的過程中,晚材含量的增加要比早材快(圖3),故隨年輪寬度的增大,早材的含量絕對值雖亦增加,但其在整個年輪中所佔的百分率則反小(表4)。同時,年輪寬度在 0.5 mm (每厘米 20 輪) 以下時,晚材率顯然下降至 45% 以下,而年輪寬度爲 1.5 mm (每厘米 7 輪) 以上時,則其晚材率能保持在 70% 以上(圖4)。

上述結果完全說明了白皮榆木材年輪中早、晚材兩部分的構造是相差懸殊的,所以也就直接地影響了它的性質。以小型試件分別早、晚材進行試驗的結果,也完全證實了

表 1 白皮榆早、晚材木材分子大小的變異

木材分子		年輪	寬年輪 (3.3—5.0 mm)						中年輪 (1.7—0.8 mm)						窄年輪 (0.3—0.2 mm)					
		部位	次數	M ₁	±σ	±m	v, % p, %	早晚材 差異度*	次數	M ₂	±σ	±m	v, % p, %	早晚材 差異度*	次數	M ₃	±σ	±m	v, % p, %	早晚材 差異度*
導管	直徑	早材	250	273	63.9	4.05	23.4 1.48	53.0 > 3	302	257	70.3	4.05	27.4 1.58	49.7 > 3	153	208	37.9	3.06	18.2 1.47	53.0 > 3
		晚材	238	49.6	18.2	1.18	36.7 2.38		333	50.7	15.7	0.86	31.0 1.70		150	35.3	13.6	1.11	38.5 3.14	
	徑弦向	早材	250	192	42.2	2.67	22.0 1.44	50.0 > 3	301	206	51.5	2.97	25.0 1.44	55.8 > 3	153	184	37.0	2.99	20.2 1.63	
		晚材	246	42.0	17.8	1.14	42.5 2.71		333	36.5	11.6	0.64	31.9 1.75		150	30.0	11.6	0.95	38.8 3.17	51.3 > 3
μ	胞壁厚	早材	240	3.08	0.995	0.064	32.3 2.05	23.8 > 3	422	3.16	1.51	0.074	47.9 2.34	25.0 > 3	150	2.79	0.844	0.069	30.2 2.47	18.4 > 3
		晚材	240	1.44	0.395	0.026	27.4 1.81		420	1.27	0.33	0.016	26.0 1.27		150	1.44	0.309	0.025	21.5 1.76	
	長度	早材	180	212	32.7	2.44	15.5 1.15	3.51 > 3	180	221	35.1	2.62	15.9 1.18	5.9 > 3	150	206	34.6	2.83	16.9 1.38	5.6 > 3
		晚材	178	223	26.2	1.96	11.8 0.88		180	240	26.4	1.97	14.7 1.09		149	226	28.7	2.35	12.7 1.04	
纖維	直徑	早材	240	11.8	4.13	0.268	35.1 2.28	8.6 > 3	390	11.5	4.11	0.208	35.9 1.82	12.6 > 3	232	11.3	3.09	0.203	27.3 1.80	5.9 > 3
		晚材	241	8.48	4.18	0.270	49.3 3.18		389	8.50	3.73	0.189	44.0 2.22		237	9.49	3.57	0.232	37.6 2.44	
	胞壁厚	早材	240	1.65	0.445	0.029	27.0 1.86		391	2.24	0.702	0.036	31.3 1.61	7.8 > 3	150	1.54	0.398	0.033	25.9 2.14	
		晚材	242	2.40	0.611	0.039	25.5 1.63	15.4 > 3	423	2.64	0.733	0.036	27.7 1.36		150	2.32	0.527	0.043	22.7 1.85	14.5 > 3
μ	長度	早材	180	519	132	9.89	25.5 1.91		180	565	118	8.81	20.9 1.61	41.2 > 3	150	541	114	9.27	21.0 1.71	34.8 > 3
		晚材	180	1118	171	12.8	15.3 1.14	37.1 > 3	180	1178	161	12.0	13.6 1.01		150	986	109	8.86	11.0 0.90	

* 早、晚材差異度按下式計算：
$$\frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}$$

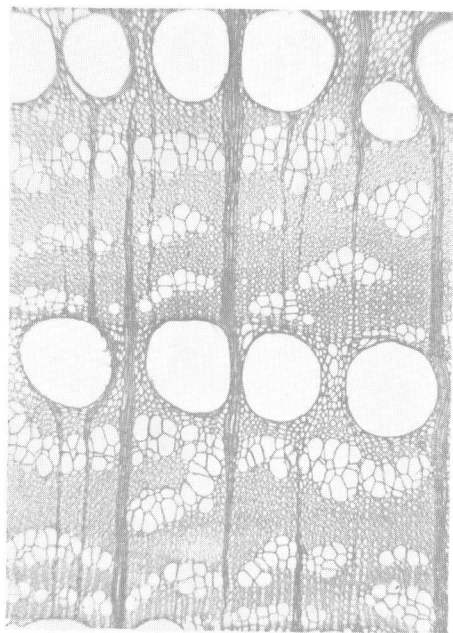
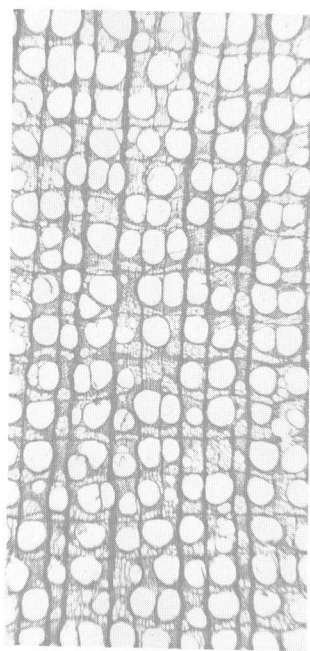
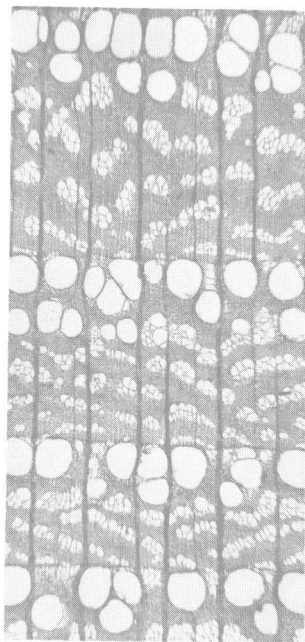


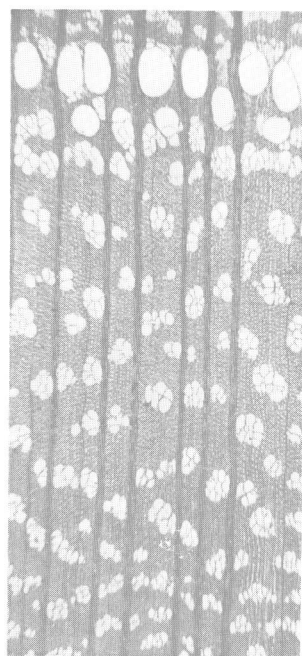
圖 1 白皮榆木材橫切面微觀構造圖， $\times 54$



A. 窄輪



B. 中輪



B. 寬輪

圖 2 白皮榆木材寬窄年輪比較圖， $\times 20$

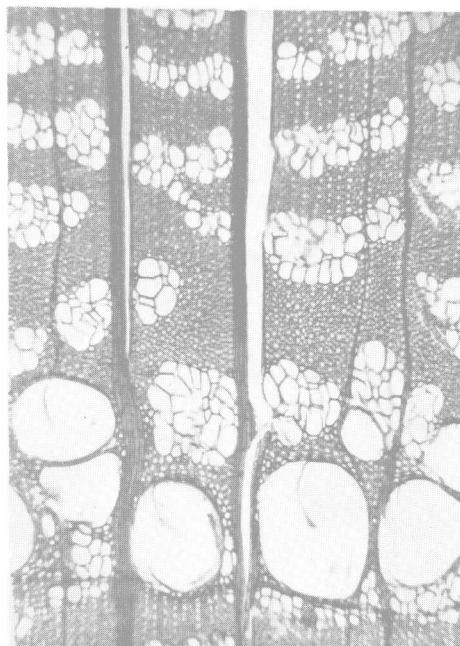


圖 6 沿木質線開裂的徑裂紋， $\times 62$

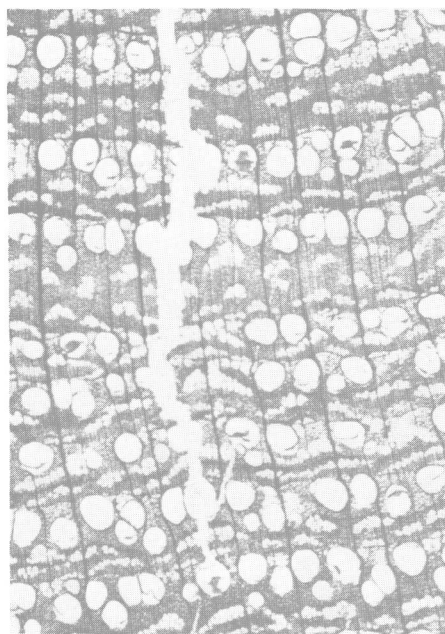


圖 7 沿導管開裂的徑裂紋， $\times 19$

表2 白皮榆木材分子容積量

年輪部位	I 寬年輪 (3.3—5.0 mm)							II 中年輪 (1.7—0.8 mm)							III 窄年輪 (0.3—0.2 mm)							寬窄輪差異度			
	* 次數	M ₁	±σ	±m	v, %	p, %	早晚材 差異度	* 次數	M ₂	±σ	±m	v, %	p, %	早晚材 差異度	* 次數	M ₃	±σ	±m	v, %	p, %	早晚材 差異度				I與II
木材分子	早材	49	56.5	7.79	1.11	13.81	9.7	19.6>3	46	66.5	5.54	0.82	83.31	1.23	20.8>3	88	73.8	6.27	0.67	8.50	9.1	12.6>3	7.2>3	6.9>3	13.3>3
	晚材	49	22.5	3.58	0.51	15.82	27	19.6>3	46	33.0	9.79	1.44	29.74	3.8	12.6>3	87	48.7	17.6	1.88	36.3	3.86	12.6>3	6.85>3	6.6>3	6.9>3
導管 %	早材	50	25.8	7.86	1.11	30.14	31	29.0>3	46	18.3	5.98	0.88	32.74	4.82	19.0>3	89	14.1	5.67	0.60	40.24	2.6	12.6>3	5.3>3	3.9>3	9.3>3
	晚材	50	63.1	4.71	0.65	7.46	1.04	2.6<3	46	53.6	11.2	1.64	20.93	3.06	0.2<3	87	40.6	18.8	2.02	46.4	4.97	12.6>3	5.4>3	5.0>3	10.6>3
纖維管胞 %	早材	50	15.2	3.90	0.52	25.63	41	2.6<3	46	11.2	3.18	0.47	28.44	4.20	0.2<3	89	9.7	3.15	0.33	32.5	3.44	12.6>3	5.9>3	2.6<3	9.0>3
	晚材	50	13.9	2.56	0.36	1.83	2.60	2.6<3	46	11.3	2.97	0.44	26.33	3.89	0.2<3	87	10.8	3.09	0.33	28.6	3.06	12.6>3	4.6>3	0.9<3	6.4>3
木質線 %	早材	50	15.2	3.90	0.52	25.63	41	2.6<3	46	11.2	3.18	0.47	28.44	4.20	0.2<3	89	9.7	3.15	0.33	32.5	3.44	12.6>3	5.9>3	2.6<3	9.0>3
	晚材	50	13.9	2.56	0.36	1.83	2.60	2.6<3	46	11.3	2.97	0.44	26.33	3.89	0.2<3	87	10.8	3.09	0.33	28.6	3.06	12.6>3	4.6>3	0.9<3	6.4>3

* 為測定的線數。

表3 表面空隙率的變化

年輪	I 寬年輪 (3.3—5.0 mm)							II 中年輪 (1.7—0.8 mm)							III 窄年輪 (0.3—0.2 mm)							寬窄輪差異度		
	部位	次數 [*]	M ₁	±σ	±m	v, %	p, %	早晚材差異度	次數 [*]	M ₂	±σ	±m	v, %	p, %	早晚材差異度	次數 [*]	M ₃	±σ	±m	v, %	p, %			
早材, %	48	64.86	0.05	0.872	9.34	1.345	26.1>3	43	73.4	4.237	0.647	5.77	0.881	32.2>3	89	76.7	4.52	0.479	5.89	0.624	25.5>3	7.9>3	4.1>3	12.2>3
晚材, %	48	37.53	7	0.534	9.87	1.42		44	45.1	3.863	0.583	8.58	1.29		87	49.9	8.76	0.933	17.6	1.87		9.6>3	4.4>3	11.5>3

* 為測定的線數。

表4 年輪中早、晚材平均含量的變化

年輪寬度, mm	年輪寬度, mm															
	早材	百分率 %	寬度, mm	百分率 %	寬度, mm	百分率 %	寬度, mm	百分率 %	寬度, mm	百分率 %	寬度, mm	百分率 %	寬度, mm	百分率 %	寬度, mm	百分率 %
早材	12.8	12.8	0.70	0.64	87.2	87.2	4.80	4.36	3.90	3.32	2.79	2.36	1.97	1.50	1.07	0.95
	16.9	16.9	0.68	0.60	83.1	83.1	3.32	3.90	3.32	2.79	2.36	1.97	1.50	1.07	0.95	0.88
晚材	12.8	12.8	0.70	0.64	87.2	87.2	4.80	4.36	3.90	3.32	2.79	2.36	1.97	1.50	1.07	0.95
	16.9	16.9	0.68	0.60	83.1	83.1	3.32	3.90	3.32	2.79	2.36	1.97	1.50	1.07	0.95	0.88
早材	12.8	12.8	0.70	0.64	87.2	87.2	4.80	4.36	3.90	3.32	2.79	2.36	1.97	1.50	1.07	0.95
	16.9	16.9	0.68	0.60	83.1	83.1	3.32	3.90	3.32	2.79	2.36	1.97	1.50	1.07	0.95	0.88
晚材	12.8	12.8	0.70	0.64	87.2	87.2	4.80	4.36	3.90	3.32	2.79	2.36	1.97	1.50	1.07	0.95
	16.9	16.9	0.68	0.60	83.1	83.1	3.32	3.90	3.32	2.79	2.36	1.97	1.50	1.07	0.95	0.88
早材	12.8	12.8	0.70	0.64	87.2	87.2	4.80	4.36	3.90	3.32	2.79	2.36	1.97	1.50	1.07	0.95
	16.9	16.9	0.68	0.60	83.1	83.1	3.32	3.90	3.32	2.79	2.36	1.97	1.50	1.07	0.95	0.88
晚材	12.8	12.8	0.70	0.64	87.2	87.2	4.80	4.36	3.90	3.32	2.79	2.36	1.97	1.50	1.07	0.95
	16.9	16.9	0.68	0.60	83.1	83.1	3.32	3.90	3.32	2.79	2.36	1.97	1.50	1.07	0.95	0.88

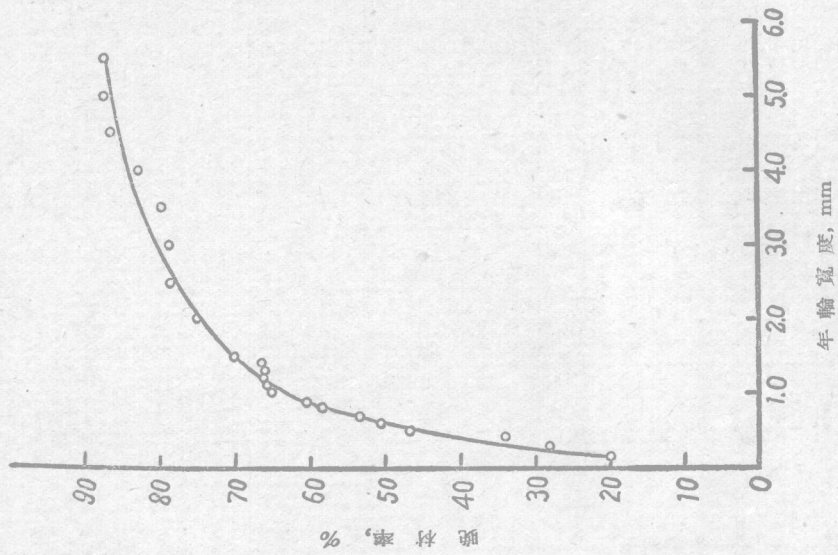


圖 4 晚材率與年輪寬度的關係

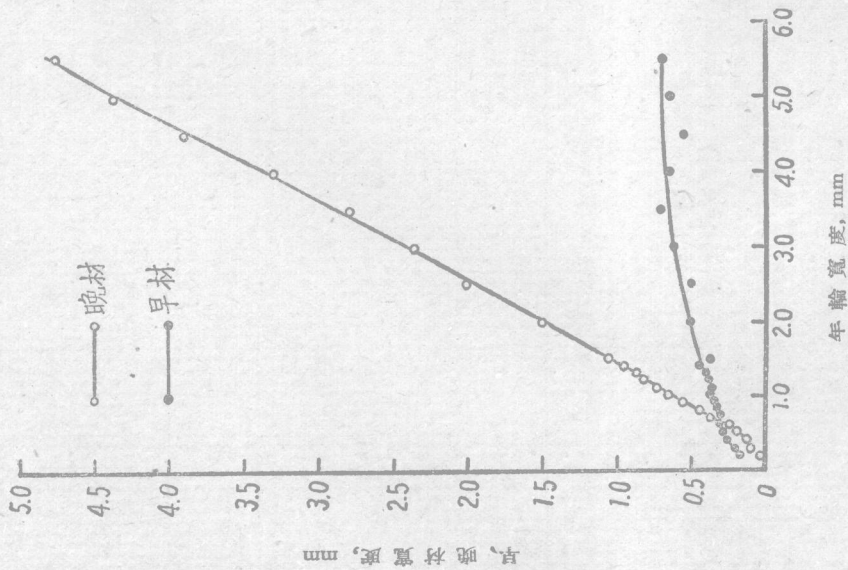


圖 3 早、晚材寬度與年輪寬度的關係

這一點,早、晚材的性質是有顯著差異的(表5)。

表5 白皮榆早、晚材的物理力學性

項 目	年輪 部位	試驗 次數	M	$\pm \sigma$	$\pm m$	$v, \%$	$p, \%$	早晚材 差異度
公 定 容 重 g/cm ³	早材	22	0.31	0.012	0.002	3.7	0.78	15.4>3
	晚材	20	0.53	0.013	0.003	2.5	0.56	
弦 向 收 縮 %	早材	35	7.5	1.73	0.29	23.0	3.89	12.7>3
	晚材	44	12.2	1.52	0.23	12.5	1.83	
徑 向 收 縮 %	早材	85	2.7	4.26	0.46	157.7	17.10	7.6>3
	晚材	79	6.6	1.85	0.21	28.0	3.15	
靜曲極限強度 (含水量 10—12%) kg/cm ²	早材	29	390	99.42	18.46	25.5	4.73	90.9>3
	晚材	37	2121.6	287.7	4.73	13.6	2.23	
縱拉極限強度 kg/cm ²	早材	38	271	60.78	9.86	22.4	3.64	42.2>3
	晚材	41	2299	307.4	48.01	13.4	2.09	

本項試驗所用的試件,容重與收縮為 $0.5 \times 4 \times 20$ mm, 靜曲為 $0.5 \times 4 \times 35$ mm, 縱拉為 $0.5 \times 6 \times 100$ mm, 其中部破壞斷面為 0.5×4 mm, 為防止機器鉗口損壞試件, 保證其正常的破壞, 縱拉試件兩端粘夾厚為 1.5 mm 的單板。容重以水銀測容計測定, 為保證一定的精確度, 測定時每次同時投入 10 件。弦、徑向收縮均在同一試件的橫斷面上以工具顯微鏡顯微照像測定。縱拉試驗是在試件達氣乾狀態時用 250 kg 的 Schopper 拉力試驗機進行, 加荷速度每分鐘 30 kg。靜曲試驗則以 5 kg 天平改製的特殊裝置進行, 支點及壓頭半徑為 1 mm, 跨距 15 mm, 以石英砂每分鐘 600 g 均速集中加荷。

為了進一步了解木材構造與收縮的關係, 以切片顯微照像測定木材分子的收縮。切片在浸水飽和後置載物玻片上, 蓋以蓋玻片, 在蓋玻片的兩相對邊緣上封以膠布, 以便切片中的水分能向外蒸發, 在乾燥過程中並保持平直。切片達飽和狀態時測量 1 次, 絕乾後再測量 1 次。切片乾縮後, 為了觀察明晰起見, 測定前滴入 1 滴煤油 (20°C 時比重 0.782, 粘度 0.932 厘泊), 根據 Хассельблатт¹⁾ 及 С. В. Генель 與 М. В. Новожилова (1953) 的試驗, 均認為煤油對木材膨脹的影響是不大的, 我們的試驗也證明了煤油對乾切片的測定沒有影響。

試驗結果說明了不同分子的收縮特性是不相同的(表6), 其中以纖維管胞收縮最

1) 引自 С. И. Ванин, Древесиноведение, 2-е изд., Гослестехиздат, 1940.

大。在收縮的過程中，纖維管胞及晚材導管的胞壁縮小，胞腔稍增大，而整個分子縮小。但是早材中，導管的情況則不相同，在胞壁收縮、胞腔變小的同時，整個分子在弦向縮小，而在徑向反有伸長的現象（圖 5）。

表 6 白皮榆木材分子收縮，%

木 材 分 子		弦 向	徑 向
纖維管胞胞壁	早 材	36.0	33.8
	晚 材	34.6	36.3
導 管 胞 壁	早 材	23.1	26.0
	晚 材	25.4	21.5
木 質 線		15.1	2.67

所有上述的結果，都說明了由於木材構造的不同而其性質亦有差異。有關木材性質與構造的關係，將在下節加以討論。

* * * * *

從試驗結果看來，容重的變化顯然是與纖維管胞及導管分子的大小和胞壁厚度有關，因為這就意味着木材內部所含木質的多寡；分子愈小，胞壁愈厚，其木質含量愈高，則其容重亦愈大。白皮榆木材中，不僅早、晚材間分子容積量有很大的差別，同時隨着年輪寬度的變化，早、晚材中表面空隙率與早、晚材的含量也在改變，而且早、晚材的分子容積量也有變化，特別是隨着年輪的加寬，纖維管胞和木質線的含量也增加，所以也就引起了整個木材容重的變化。對於整個木材來說，容重的值是早材和晚材兩者容重的平均結果。

木材收縮的原因，過去很多學者都進行過研究，一般認為收縮是與木質含量有關，也就是說，單位面積所含木質愈多，空隙愈小，其乾縮愈大。從這次試驗來看，纖維管胞在單位面積上的木質含量，不論在早材或晚材都比導管分子大，因此，纖維管胞的收縮就大於導管。但是還必須指出，不同分子的收縮特性亦不同。在整個木材中，纖維管胞胞壁的收縮比導管大，當乾縮的時候，纖維管胞各個方向都縮小，而導管分子無論在早材或晚材中，在弦向是彼此相連，排成一系列或成管孔鏈，因此整個分子在這個方向的收縮是隨胞壁的收縮而縮小的。但是在徑向，由於與纖維管胞的接觸面大，鄰近的纖維管胞收縮亦大，同時導管分子較大，其徑向直徑又比弦向大，所以導管在這個方向就容易伸長。因此，對整個木材的收縮來說，導管在徑向的伸長乃形成木材徑向收縮小的原因之一；但是在弦向，所有各種木材分子都是處在縮小狀態而無伸長現象，故弦向收縮亦大。

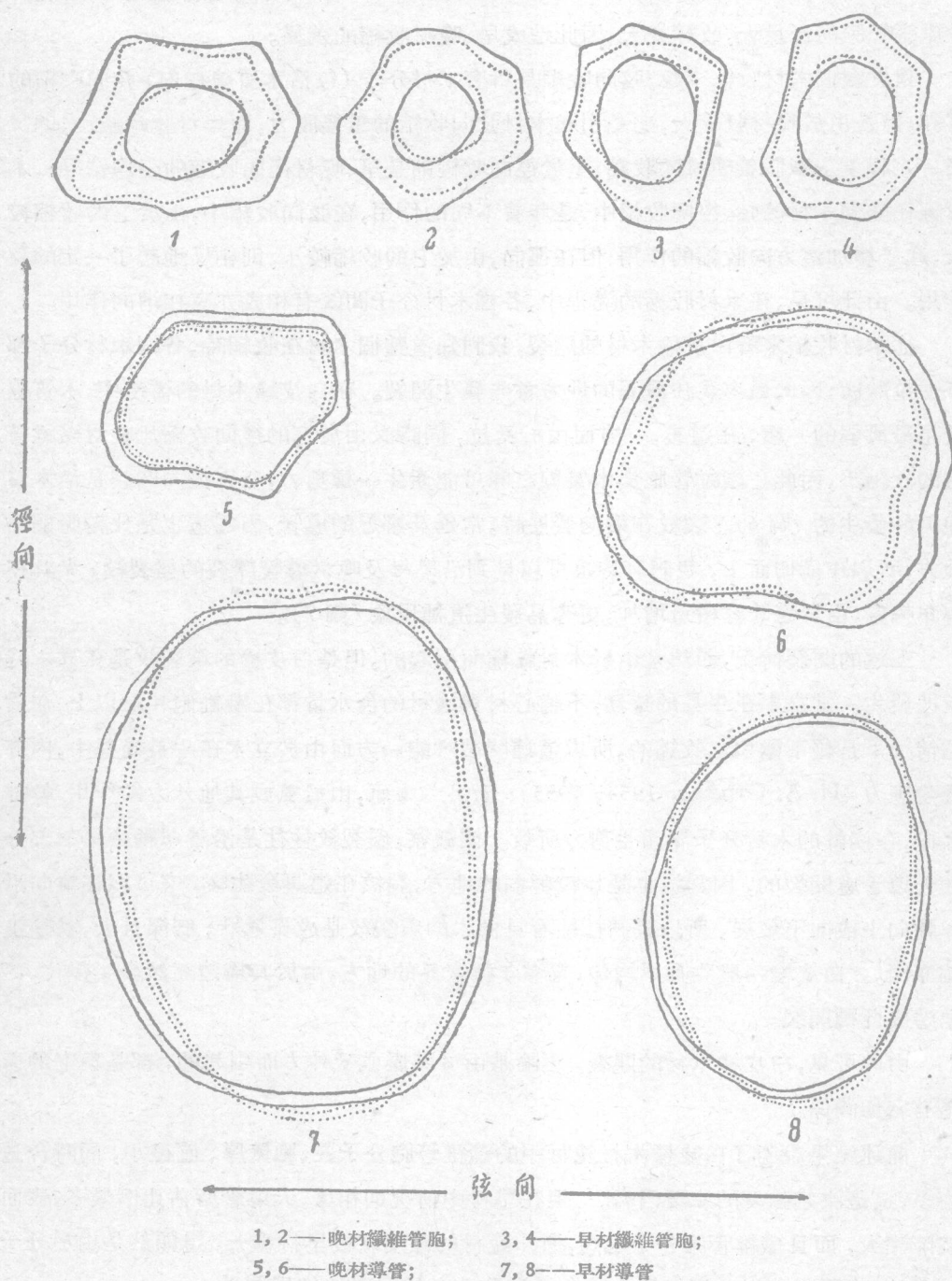


圖5 白皮榆木材分子收縮前(實線)、後(虛線)比較圖

另外在早、晚材方面,由於其組成分子的含量不同,在早材中導管含量最多,而晚材中纖維管胞的含量大,收縮亦大,因此造成早、晚材收縮的差異。

對於整個木材收縮來說,弦向收縮是所有木材分子(包括木質線在內)弦向收縮的總和,但是由於晚材收縮大,它是引起木材弦向收縮的重要動力,而早材收縮較小,則又在一定程度上牽制着晚材的收縮;至於徑向收縮則是早、晚材徑向收縮的平均結果。木質線在整個木材的弦、徑向收縮中,是起着不同的作用,在弦向收縮中,由於它的收縮較大,起了增加這方向收縮的作用;但在徑向,由於它的收縮較小,則相反地起了一定的負作用。由此可見,在木材收縮的過程中,各種木材分子間既有相成亦有相消的作用。

從木材收縮來看白皮榆木材的開裂,我們知道整個木材在收縮時,各個木材分子都在受拉狀態,因此最容易在薄弱的地方首先發生開裂。在白皮榆木材的構造中,木質線就是最薄弱的一環,在這裏,一方面由於受拉,同時又由於它的徑向收縮比晚材纖維管胞的收縮小,因此在纖維管胞與木質線之間可能產生一種剪力,所以徑向開裂是沿木質線開始發生的(圖6)。裂紋在縱向發展時,常延及鄰近的導管,因為這也是比較脆弱的地方,所以在橫切面上,我們有時也可以見到沿早材及晚材導管開裂的徑裂紋,尤其在窄年輪處,由於導管容積量增加,更容易發生這種現象(圖7)。

上述的開裂情況,顯然是由於木材乾縮而引起的,但是白皮榆的環裂紋是在立木時就已發生。當立木在生長的時候,不論心材與邊材的含水量都在纖維飽和點以上,在這種情況下是絕不能引起收縮的,所以這種開裂可能一方面由於立木在生長過程中,內部發生應力(И. А. Стриха, 1954, 1955);而另一方面,由於風或其他外力的作用,幹部搖擺,在樹幹的木材分子間產生剪力所致。據觀察,環裂紋往往是沿着年輪中早材部分的大導管處開裂的,因為這也是比較脆弱的地方,裂紋在這裏發生後,它可以在縱向沿年輪向上或向下發展,所以我們往往看見榆木的環裂紋是成貫通狀,既深且大,就是這個原因。白皮榆一般生長不均勻,寬窄年輪交界的地方,由於其構造突然發生變化,更易造成此種開裂。

由此可見,白皮榆木材的開裂,不論是由於乾燥或受外力而引起的,都是與它的構造有密切關係。

前述結果說明了白皮榆木材晚材中的纖維管胞分子長、胞壁厚、直徑小,同時含量亦多,這是決定強度的主要因素。但在早材中情況則相反,大導管所佔比例最多,表面空隙率大,而且纖維管胞分子也短,所以晚材的強度就較早材為大,這顯然是由於分子的長度、表面空隙以及纖維管胞的含量這些綜合的因素的作用結果。

從木材的內部構造來看,白皮榆木材的強度,由試驗結果中可以知道,隨着年輪寬

度的增大，年輪中的晚材含量亦隨着增大，而且年輪中早、晚材的木材分子容積量和表面空隙率也在改變；就是說，木材中的機械組織——纖維管胞增加了，表面空隙率減小了，因此也影響了它的強度。所以過去認為闊葉樹環孔材的強度是隨着年輪寬度或晚材率的增加而增大的。無疑，從縱拉強度來說，它與木質的總斷面積是有很大關係，所以晚材含量愈多，其強度亦愈大，晚材率與縱拉強度的相關係數 $\gamma=0.80$ 。此外，靜曲強度與晚材率的關係亦較大，其相關係數 $\gamma=0.63$ 。但是還必須指出，由於白皮榆早、晚材的差異懸殊，形成層狀構造，在不同的加力方向下，早、晚材的作用是不相同的，如弦面剪力、徑向橫拉、徑向橫壓等強度，均是由早材所決定的，因為它是隨早材的破壞而破壞，與晚材的含量無關。根據試驗結果的統計，各種強度與晚材率的相關係數如下：

弦面剪力強度 $\gamma = 0.197$,

徑向橫拉強度 $\gamma = 0.153$,

徑向橫壓強度 $\gamma = 0.155$ 。

而各種強度與年輪寬度的相關係數則為：

弦面剪力強度 $\gamma = 0.296$,

徑向橫拉強度 $\gamma = 0.169$,

徑向橫壓強度 $\gamma = 0.051$ 。

由此可見，白皮榆木材的晚材率及年輪寬就不能作為決定這些強度的指標了。所以榆木的各種強度，由於其受力的性質不同，而木材中的各種分子——導管、纖維管胞、木質線則又起着不同的作用。因此單獨以木質的量——晚材率來作強度的指標還是很不夠的，過去以年輪寬或晚材率作為強度的指標而得出不同的結論和引起不同意見的爭論，我們認為問題就在於此。所以必須考慮到強度的種類與木材解剖分子的結構情況，以及它在該種強度中所起的作用，才能正確地估計木材構造與強度間的關係。

* * * * *

總之，我們可以肯定白皮榆木材性質的變化，是由於早、晚材構造的差異而引起的，但是由於年輪寬度的變化，關係着早、晚材構造與含量的差異，則又影響着整個木材的性質。

從這次試驗結果看來，白皮榆木材收縮的不均勻是由於木材分子的收縮特性及木材分子組成所決定，而且早、晚材和木質線在弦、徑向的收縮中起着不同的作用。

開裂情況與木材分子的排列有密切關係，但是形成徑裂的內應力與分子間的收縮不均有關，而形成環裂的內應力則在很大程度上受外力作用的影響。

至於木材的強度，不僅與纖維管胞的數量及表面空隙率有關，而且在不同的受力情