



Title	雲南産主要広葉樹材の道管壁修飾構造のSEM研究
Author(s)	呉, 晋; JING, Wu; 大谷, 諄 他
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 46(4), 847-939
Issue Date	1989-08
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21308
Type	departmental bulletin paper
File Information	46(4)_P847-939.pdf



雲南産主要広葉樹材の道管壁 修飾構造のSEM研究

呉 晋* 大谷 諄* 深沢和三*

SEM Observations on the Vessel Wall Modifications in Yunnan Hardwoods

By

Wu JING*, Jun OHTANI* and Kazumi FUKAZAWA*

要 旨

中国雲南省産広葉樹材 37 科 59 属 71 樹種の道管壁の修飾構造を走査電子顕微鏡(SEM)を用いて研究した。中国の学者は既に多くの雲南材の修飾構造を光学顕微鏡で研究し樹種識別の知見を与えているが、本研究ではSEMを用いて壁孔、せん孔板、らせん肥厚の3つの項目を研究し更に深い知見を得た。(1)壁孔はそれらの形態と配列によって交互状、階段状、対列状、柵状、水平状集合、不規則な集合のタイプに分けられた。ベスチャード壁孔を持つ16樹種のうち、11種は全ての壁孔がベスチャード壁孔であったが、5種は道管放射組織間壁孔と道管軸方向柔細胞間壁孔が一部ベスチャード壁孔で、これはこれらの壁孔の形態と密接な関係があることが認められた。道管相互壁孔のベスチャーの発生部位と程度によって、それらのベスチャード壁孔を5つのタイプに分けた。(2)せん孔板を単せん孔、階段せん孔、多孔せん孔(階段せん孔以外の多孔せん孔をさす)に分け、それらの種類によって供試樹種を6つのグループに分けた。単せん孔のみを持つ樹種が50種で、熱帯樹種に多い、その内の *Gardenia jasminoides* にベスチャードせん孔が観察された。2種類以上のせん孔を持つ樹種には、それらのせん孔の形態の変動は道管要素の形態に支配されるもの(4種)、年輪内の位置と関係がある

キーワード：道管壁修飾構造、せん孔板、壁孔、らせん肥厚、SEM。

1989年2月28日受理 Received February 28 1989.

* 北海道大学農学部林産学科木材理学講座

Laboratory of Structure and Physical Properties of Wood, Department of Forest Products, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

るもの(2種)と関係がないもの(7種)とがあり, Mismatching perforation plate の出現頻度も高い。(3) 21樹種にらせん肥厚が存在したが, それらは全ての道管要素にらせん肥厚が存在するもの(12種)と一部の道管要素に存在するもの(9種)とに分けられる。らせん肥厚の形態を隆起部の高さ, 太さ, 消失の頻度及び隆起部の間隔をもとにして, 顕著なもの, 軽微なものに分け, さらに, 隆起部の太さ, 間隔の均一性及びらせん方向の一致性によって, 規則的なものと不規則なものに分けた, これらのタイプにより, 21樹種のらせん肥厚の樹種的特徴を示した。

目 次

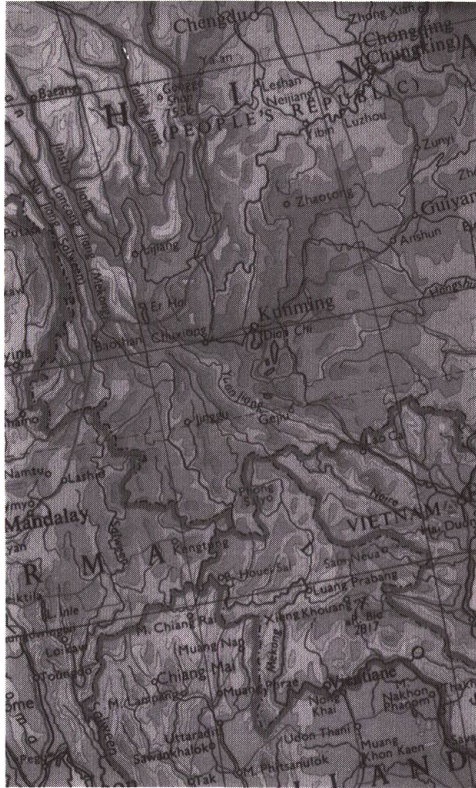
1. 緒 言	849
2. 供試材及び実験方法	852
2.1 供試材	852
2.1.1 供試樹種	852
a) 供試樹種名	852
b) 供試樹種の選定	854
2.1.2 供試材	854
a) 生立木からの試料	854
b) 材 鑑	855
2.2 実験方法	858
2.2.1 試料の作製	858
2.2.2 検 鏡	858
3. 結果と考察	859
3.1 せん孔板	859
3.1.1 概 説	859
3.1.2 せん孔板の分類	859
3.1.3 せん孔板の形態	861
a) 単せん孔のみをもつ樹種のせん孔板の形態	861
b) 階段せん孔のみをもつ樹種のせん孔板の形態	862
c) 単せん孔と階段せん孔をもつ樹種のせん孔板の形態	863
d) 単せん孔と多孔せん孔をもつ樹種のせん孔板の形態	864
e) 階段せん孔と多孔せん孔をもつ樹種のせん孔板の形態	865
f) 単せん孔, 階段せん孔と多孔せん孔をもつ樹種のせん孔板の形態	866
3.1.4 要 約	867
3.2 壁 孔	868
3.2.1 概 説	868
3.2.2 VV 壁孔の形態と配列	869
a) 対列壁孔をもつ樹種の VV 壁孔の形態	872
b) 階段壁孔をもつ樹種の VV 壁孔の形態	872
c) 交互壁孔をもつ樹種の VV 壁孔の形態	872
3.2.3 VR 壁孔の形態と配列	872
1) VV 壁孔とほぼ同じもの	872

2) VV 壁孔と違うもの	872
a) 柵状配列	874
b) 階段状配列	874
c) 水平状集合	874
d) 不規則な集合	875
3.2.4 VP 壁孔の形態と配列	875
3.2.5 ベスチャード壁孔	875
1) VV 壁孔のベスチャーの形態	876
a) A タイプをもつ樹種のベスチャード壁孔の形態	877
b) B タイプをもつ樹種のベスチャード壁孔の形態	877
c) C タイプをもつ樹種のベスチャード壁孔の形態	877
d) D タイプをもつ樹種のベスチャード壁孔の形態	878
e) E タイプをもつ樹種のベスチャード壁孔の形態	879
2) VR 壁孔のベスチャーの形態	879
a) すべての壁孔がベスチャード壁孔である樹種	880
b) 一部の壁孔がベスチャード壁孔である樹種	880
3) VP 壁孔のベスチャーの形態	880
3.2.6 要 約	880
3.3 らせん肥厚	881
3.3.1 概 説	881
3.3.2 らせん肥厚の分類	882
3.3.3 らせん肥厚の形態	883
1) すべての道管要素にらせん肥厚が存在する樹種	883
2) 一部の道管要素にらせん肥厚が存在する樹種	885
3.3.4 らせん肥厚のらせん方向	887
3.3.5 らせん肥厚が存在しない樹種	888
3.3.6 要 約	889
4. 結 論	890
文 献	895
Summary	898
Explanation of photographs	900
写 真	910

1. 結 言

中国雲南省(東経 97°39'~106°12', 北緯 21°9'~29°15')は, 北はヒマラヤ, チベットの海拔 6,000 m に達する高山に連なり, 南はベトナム, ラオスの海拔 80 m の熱帯低地と接する。面積は 394,000 km² である。南亜季節風の影響のため, 湿, 半湿, 半乾燥, 乾燥などの気候が多様である。金沙江(揚子江の上流)を始め, 四つの大きな河流が深い谷を刻んで, 北西から東南へ雲南高原を流れている。多様な気候, 複雑な地形のため, 非常に幅広い植物群落をもち, 植物の種類が極めて豊富である (Fig. 1)。

一般に, 中国は世界の植物の種類約 10% の種をもっていると言われているが, 雲南は



1. Alpine region, in which most areas are the flora of subfrigid zone.
2. Highlands, in which most areas are the flora of temperate zone.
3. Low elevation region, in which most areas are the flora of tropical and subtropical zone.

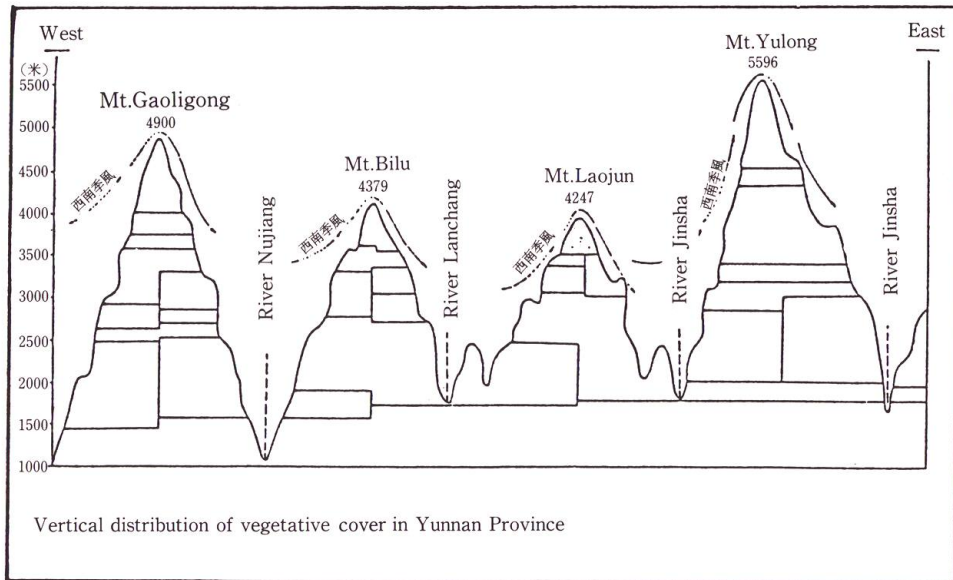


Fig. 1. Position, topographic features and flora of Yunnan Province.

中国の約 50%をもっている。雲南に生育する高等植物が 15,000 種(呉征鎰 1984, 1985)で、その内、樹木が 3,000 種に及ぶと言われている。

しかし、雲南でいま利用されている木材はほとんど松、杉、桧のような針葉樹で、広葉樹は雑木といわれている(呉蓉清 1985)。広葉樹に対する認識と知識はまだ不足しており、いまだに新樹種の発見もなされている。中国では、木材の需要が年々 5~10%増えており、木材の輸入もだんだん増加する傾向がある。この実状の対策として中国政府は華南、華北、東北地区に大規模な早成人工林を植林しつつある。今後 30 年に 2,000 万 ha の人工林区を作る計画も立てている。このようなときに当り、雲南のまだ未知の木材を含めて、その組織構造を研究し、樹木学あるいは木材学に対して知見を提供することは意義深いことである。

雲南省には中国科学院昆明植物研究所、雲南省林業科学院、雲南大学生物学部、西南林学院などの機関が設置されており、雲南の木材を研究し、かなりの成果をあげている。1936 年に中国ではじめて出版された“木材学”の著者の唐 燿は雲南に移居し、長い間雲南材の研究に没頭して、“雲南熱帯材及亜熱帯材”を 1973 年に出版した。中国林業科学院の成俊卿も 1980 年に“中国熱帯材、亜熱帯材”を出版し、90 科 281 属 470 樹種の組織構造を記述している。その内、広葉樹は約 90%、多くの雲南材を含んでいる。また、雲南省林業科学院の羅良才も“雲南主要樹種木材的物理学性質と用途”のなかで針葉樹 31 種、広葉樹 211 種を記載した。しかし、SEM レベルの研究はまだ行われていない。

広葉樹材の一番重要な特徴は道管をもっていることである。道管要素にはほかの構成要素より多種の細胞壁の修飾構造が存在する。即ち、道管壁にある修飾構造は、多くの広葉樹の固有の特徴を示している(Panshin・de Zeeuw 1980)。修飾構造についての理解を深めると、樹種固有の特徴が基礎的知見として把握することが出来る。いままでに多くの中国の木材学者が雲南材の修飾構造を光学顕微鏡で研究しており、道管壁の壁孔、道管要素の末端壁にあるせん孔板、道管壁に発生するらせん肥厚などの研究は相当に進んでいる。しかし、SEM を利用すれば、さらに詳しく三次元的に微細な形態の観察ができ、修飾構造の本質がもっと正確に把握できるようになる。

道管壁の壁孔について、壁孔の配列や形態などの樹種的な特徴が詳細に観察、研究される。しかも、ベスチャード壁孔のような樹種識別に重要な構造も、発生の部位、発達の程度、形などよく観察されることより、解明される。

国際木材解剖用語集(1975)によれば、道管せん孔は単せん孔と多孔せん孔に区別され、さらに後者は階段、網状、マオウ型に分けられているが、SEM 観察により Vestured perforation plate, Mismatching perforation plate, Combination perforation plate などの特異なせん孔板や、せん孔の開孔部の隅に残っている Microfibrillar web など、いままで観察されなかった新しい構造が次々と見出され、せん孔の形成過程、せん孔と壁孔の関係などがだんだん分かってくる。

らせん肥厚についても同様である。らせん肥厚の隆起部の高さ、幅及び消失頻度などの微細形態がSEMにより詳細に観察され、正確に分類されるばかりでなく、年輪内のらせん肥厚の変動なども認識され、らせん肥厚と道管壁の壁層との関係も分かってきた。

上述のように、道管壁修飾構造のSEM研究によって、広葉樹材のもっとも重要な複雑な道管壁の微細構造の樹種の特徴を把握することができ、樹種の識別、樹木の利用、樹木の分類などに新しい情報を提供することができると思われる。

2. 供試材及び実験方法

2.1 供試材

2.1.1 供試樹種

a) 供試樹種名

本研究に用いた供試材は雲南省原産の広葉樹材である。供試材は、正常に生育している生立木から採集した試料と、雲南省にある植物、林業関係の大学、研究所から提供された材鑑である。本論文に記載されたものは37科59属71樹種である(Table 1)。Table 1に用いた学名は“雲南種子植物名録”(呉 1984)、“雲南の植物”(呉 1985)、“西双版纳植物名録”(中国科学院雲南熱帯植物研究所 1985)“中国樹木誌”第1巻、第2巻(鄭 1983)、“樹木学”(北京林学院主編 1980)から引用した。

Table 1. List of species examined

No.	Family	Species	Chinese name
1	Anacardiaceae	<i>Pistacia weinmannifolia</i> J. POISSON ex FRANCH.	紫油木
2	Apocynaceae	<i>Alstonia scholaris</i> (LINN.) R. BR.	糖膠樹
3	Aceraceae	<i>Acer forrestii</i> DIELS	麗江槭
4	Betulaceae	<i>Alnus nepalensis</i> D. DON	蒙自栎木
5		<i>Betula albo-sinensis</i> BURKILL	紅樺
6		<i>Betula alnoides</i> BUCH.-HAM.	西南樺
7	Bignoniaceae	<i>Catalpa duclouxii</i> (DODE) GILMOUR	滇楸
8		<i>Stereospermum tetragonum</i> (WALL.) DC.	羽葉楸
9	Bombacaceae	<i>Bombax ceiba</i> Linn.	木棉
10	Burseraceae	<i>Garuga pinnata</i> ROXB.	羽葉白頭樹
11	Caesalpiniaceae	<i>Cassia siamea</i> LAMARCK.	鉄刀木
12	Combretaceae	<i>Terminalia belericoides</i>	欖仁
13		<i>Terminalia myriocarpa</i> HUERCK et M.-A.	千果欖仁
14	Cerastraceae	<i>Euonymus yunnanensis</i> FRANCH.	雲南衛茅
15	Ericaceae	<i>Rhododendron rubiginosum</i> FRANCH.	紅棕杜鵑
16	Euphorbiaceae	<i>Sapium sebiferum</i> (LINN.) ROXB.	烏柏
17		<i>Macaranga denticulata</i> (BL.) MUELL.-ARG.	中平樹
18		<i>Baccaurea ramiflora</i> LOUR.	木奶果

No.	Family	Species	Chinese name
19		<i>Cleistanthus saichikii</i>	閉花木
20		<i>Mallotus philippinensis</i> (LAM.) MUELL.-ARG.	粗糠柴
21	Fagaceae	<i>Quercus aquifolioides</i> REHD. et WILS. in SARG.	川滇高山櫟
22		<i>Quercus yunnanensis</i> FRANCH.	云南波爾櫟
23		<i>Quercus acutissima</i> CARR.	麻櫟
24	Flacourtiaceae	<i>Gynocardia odorata</i> R. BR. in ROXB.	馬蛋花
25	Guttiferae	<i>Calophyllum polyanthum</i> WALL. ex CHOISY	滇南胡桐
26	Lauraceae	<i>Litsea glutinosa</i> C. B. ROB.	潺稿樹
27		<i>Cinnamomum camphora</i> (LINN.) PRESL.	香樟
28	Lythraceae	<i>Lagerstroemia tomentosa</i> FRESL.	毛紫薇
29	Magnoliaceae	<i>Magnolia heptapeta</i> (BUC'HOZ.) DANDY	白玉蘭
30		<i>Michelia alba</i> DC.	白蘭花
31		<i>Paramichelia baillonii</i> (PIERRE) HU	假含笑
32		<i>Talauma gitingensis</i> ELM.	塔朗木
33	Meliaceae	<i>Chukrasia tabularis</i> A. JUSS. var. <i>velutina</i> (WALL.) KING	毛麻棟
34		<i>Melia toosenden</i> SIEB. et ZUCC.	川棟
35		<i>Melia azedarach</i> L.	苦棟
36		<i>Toona ciliata</i> ROEM.	紅椿
37		<i>Toona ciliata</i> var. <i>yunnanensis</i> (C. DC.) C. Y. WU	滇紅椿
38	Mimosaceae	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i> ARN. ex WIGHT	頂果木
39		<i>Albizia lucidior</i> (STEUDEL) I. NIELSEN	光葉合歡
40	Myrtaceae	<i>Syzygium szemaense</i> MERR. et PERRY	思茅蒲桃
41	Nyssaceae	<i>Comptotheca acuminata</i> DECNE	喜樹
42	Oleaceae	<i>Fraxinus floribunda</i> WALL. in ROXB.	多花白蠟樹
43	Papilionaceae	<i>Dalbergia szemaensis</i> PRAIN	思茅黃檀
44		<i>Dalbergia polyadelpa</i> PRAIN	多体蕊黃檀
45		<i>Erythrina arborescens</i> ROXB.	鸚哥花
46		<i>Erythrina lithosperma</i> BI. ex MIQ.	翅果刺桐
47	Rosaceae	<i>Sorbus thibetica</i> (CARDOT) HAND.-MAZZ.	康藏花楸
48		<i>Cerasus clarofolia</i> SCHNEID.	微毛櫻桃
49		<i>Malus rockii</i> REHD.	麗江山荆子
50	Rubiaceae	<i>Anthocephalus chinensis</i> (LAM.) RICH ex WALP.	团花
51		<i>Gardenia jasminoides</i> (LINN.) ELLIS	梔子花
52	Salicaceae	<i>Populus yunnanensis</i> DODE	滇楊
53		<i>Populus haoana</i> CHENG et C. WANG	德欽楊
54		<i>Salix balfouriana</i> SCHNEID. in SARG.	玉龍柳
55	Sapindaceae	<i>Arytera litoralis</i> BL.	濱木患
56		<i>Pometia tomentosa</i> (BL.) TEYSM. et BINN.	絨毛番龍眼
57	Sabiaceae	<i>Meliosma cuneifolia</i> FRANCH.	泡花樹
58	Saurauiceae	<i>Saurauia tristyla</i> DC.	水冬哥
59	Sapotaceae	<i>Pouteria grandifolia</i> (WALL.) PIERRE	龍果
60	Sonneratiaceae	<i>Duabanga grandiflora</i> (ROXB.) et DC. WALP.	八宝樹
61	Sterculiaceae	<i>Pterospermum lauceaefolium</i> ROXB.	窄葉半楓荷

No.	Family	Species	Chinese name
62	Theaceae	<i>Schima argentea</i> PRITZ.	銀木荷
63		<i>Schima wallichii</i> (DC.) KORTH.	紅木荷
64	Tiliaceae	<i>Tilia chinensis</i> MAXIM.	華楸
65		<i>Tilia paucicostata</i> MAXIM.	少脈楸
66	Ulmaceae	<i>Aphananihe cuspidata</i> (BLUME) PLANCH. in DC.	糙葉樹
67		<i>Trema orientalis</i> (L.) BLUME	山黃麻
68	Verbenaceae	<i>Gmelina arborea</i> ROXB.	雲南石梓
69		<i>Vitex quinata</i> (LOUR.) WILL.	山牡荊
70		<i>Callicarpa arborea</i> ROXB.	木紫珠
71		<i>Callicarpa poilanei</i> P. DOP.	白背紫珠

b) 供試樹種の選定

雲南に生育する樹木は3,000種と言われ、主要広葉樹の樹種の選定についてはいろいろな意見があるが、筆者らは雲南の代表的気候地区に生育する重要な用材樹種を考慮して、本論文の37科59属71樹種を選んだ。

雲南材の研究者は雲南の主要広葉樹材について、いろいろな意見を述べている。昆明植物研究所の唐耀は熱帯、亜熱帯主要広葉樹材として約150種を選び、中国林業科学院の成俊卿の著作“中国熱帯材及亜熱帯材”に記載されている雲南広葉樹材は約200種、雲南省林業科学院の羅良才は優良広葉樹材は90種、貴重な広葉樹材は50種と言い、西南林学院木材研究室の意見は150~200種である。

雲南省はおおよそ熱帯と亜熱帯、温帯、高山亜寒帯の三つの気候区に分けられる (Fig. 1)。今回の供試材は材鑑を除いて、この3つの気候に生育している樹木から取ったものである。即ち、熱帯、亜熱帯材は南の西双版纳 (Xishuangbanna)、思茅地区 (SiMao) と墨江 (Mojiang)、元江 (Yuanjiang) の河谷地区から、温帯材は昆明 (Kunming) とその周辺から、亜寒帯材は海拔3,000 m以上の麗江 (Lijiang) の高山地区からそれぞれ採集された。photo 1, 2, 3, 4はこの代表的な林相を示している。

雲南現地の木材学者の意見を根拠として、直接採集したサンプルに材鑑から得た試料を加え、雲南広葉材の微細構造の研究の第一歩として、37科59属71樹種を選定した。雲南主要広葉樹材をすべて研究するのは長年月を必要とする。筆者らを含む多くの人々が努力をつづけなければならない。

2.1.2 供試材

a) 生立木からの試料

筆者らは、1987、1988年現地へ行って、樹木学専門家の西南林学院の何培緒助教授、雲南熱帯植物研究所の鄒寿青副研究員および西双版纳自然保護区の管理者の供試樹種の指名と鑑

定を頂いて、サンプルを生立木から採集した。

正常に生育している供試木の胸高付近から、樹皮をはぎ、約5×5×3 cmの小ブロックをノミで取り出す。取られた小ブロックを直ちにF. A. A.に固定し、研究室に持ち帰った。

試料を採取すると同時に供試木の葉、花、果実を採集し、さく葉標本とした。試料の学名をその後西南林学院樹木学研究室の標本館に保存している標本と比べ鑑定した。滞在時間の制限、筆者ら自身採取することができなかった一部のサンプルは西南林学院と雲南熱帯植物研究所の木材研究室に依頼し、筆者らと同じ方法で小ブロックを採取しF. A. A.に固定してもらった。

試料を採ると同時に、供試木の産地、樹高、胸高直径などを記録した。

b) 材 鑑

生立木から試料を採取できなかった供試材は、西南林学院、昆明植物研究所、雲南省林業科学院の材鑑から収集した。

供試材についてのデータはTable 2に示されている。

Table 2. List of wood specimens

No.	Amount	Collection	Stumpage	D. B. H. (cm)	Tree H. (m)	Pro	Elevation (m)
1	①	P4050	c/o	25	10	Xishuangbanna	600
	②						
2	①	P4047	e/686	16	8	Lijiang	2850
	③						
3	①	U387	c/17	20	9	SiMao	1200
	②						
4	①	U387	e/676	36	15	SiMao	1050
	②						
5	①	U002	e/12	36	18	Lijiang	3650
	②						
6	①	U002	e/12	13	7	SiMao	1500
	②						
7	①	U50	c/12	25	12	SiMao	1200
	②						
8	①	U50	c/15	40	20	Kunming	1800
	②						
9	①	F817	b/11	60	20	Xishuangbanna	600
	②						
10	①	P4030	e/25	25	8	Yuanjiang	800
	②						
11	①	P4039	c/g	30	15	Xishuangbanna	600
	②						
12	①	U560	e/010	20	15	Xishuangbanna	600
	②						
13	①	P4022	e/20	15	15	Xishuangbanna	700
	②						
12	①	P4022					
13	①	P4021					

No.	Amount	Collection	Stumpage	D. B. H. (cm)	Tree H. (m)	Pro	Elevation (m)
	②		e/003	10	12	Xishuangbanna	600
14	①		e/685	16	8	Lijiang	2850
15	①		e/680	14	8	Lijiang	3700
16	①		e/26	20	8	Yuanjiang	800
17	①	F823					
	②		c/f	15	15	Xishuangbanna	700
18	①	P4054					
	②		c/k	15	10	Xishuangbanna	650
19	①	P4068					
	②		c/m	25	20	Xishuangbanna	600
20	①	P4067					
21	①		e/657	16	5	Lijiang	3250
22	①		e/717	12	10	Lijiang	2950
23	①	U62(1)					
	②		c/16	35	16	Kunming	1800
24	①	U30		12	7	Honghou	1100
25	①		e/11	15	9	SiMao	1600
26	①	F825					
27	①	U120					
	②		c/9	10	7	SiMao	900
28	①		e/014	16	18	Xishuangbanna	600
	②		c/1	40	25	Xishuangbanna	600
29	①	U424					
30	①		e/018	12	8	Xishuangbanna	600
31	①		e/020	32	21	Xishuangbanna	600
	②		c/35	25	18	Xishuangbanna	600
32	①	P4063					
	②		b/7	60	28	Xishuangbanna	600
33	①	P4042					
	②		e/004	20	12	Xishuangbanna	600
	③		c/n	80	40	Xishuangbanna	700
34	①		e/008	15	10	Xishuangbanna	600
35	①	U561					
	②		c/j	25	15	Xishuangbanna	600
36	①	U108					
	②		e/24	32	11	Yuanjiang	1000
37	①		e/5	34	15	SiMao	1600
	②		e/16	41	23	SiMao	1000
38	①		e/006	14	12	Xishuangbanna	600
	②		c/40	20	8	Xishuangbanna	600
39	①		e/013	32	20	Xishuangbanna	600
	②		c/q	60	20	Xishuangbanna	600

No.	Amount	Collection	Stumpage	D. B. H. (cm)	Tree H. (m)	Pro	Elevation (m)
40	①	F818					
41	①		e/15	19	10	SiMao	1000
	②		c/10	25	20	SiMao	900
42	①		e/23	42	13	Yuanjiang	1000
43	①	F831					
	②		e/18	22	18	SiMao	1000
44	①		e/13	8	6	SiMao	1000
45	①	F827					
	②		e/19	46	20	SiMao	1000
	③		c/a	80	35	Xishuangbanna	700
46	①	P4052					
47	①		e/671	14	5	Lijiang	3400
48	①		e/688	14	8	Lijiang	2850
49	①		e/711	12	8	Lijiang	3250
50	①	F828					
	②		e/009	32	20	Xishuangbanna	600
	③		c/38	25	15	Xishuangbanna	600
	④		c/e	60	30	Xishuangbanna	600
51	①		e/019	5	2	Xishuangbanna	600
52	①	U72(1)					
	②		c/14	45	20	Kunming	1800
53	①		e/663	22	15	Lijiang	3300
54	①		e/665	20	15	Lijiang	3300
55	①	P4027					
56	①		e/007	13	11	Xishuangbanna	600
	②		c/c	70	35	Xishuangbanna	600
57	①		e/682	20	16	Lijiang	2700
58	①		e/9	18	9	SiMao	1600
59	①	P4045					
60	①	F832					
	②		e/005	24	18	Xishuangbanna	600
	③		e/17	55	25	SiMao	1000
61	①	P4035					
	②		c/h	70	30	Xishuangbanna	600
62	①		e/8	18	10	SiMao	1000
	②		c/11	20	10	SiMao	800
63	①		e/14	26	18	SiMao	1000
	②		c/1	70	25	Xishuangbanna	700
64	①		e/691	14	8	Lijiang	2850
65	①		e/719	12	10	Lijiang	3200
66	①		e/2	41	40	SiMao	1200
	②		c/b	40	25	Xishuangbanna	600
67	①		e/002	35	18	Xishuangbanna	600

No.	Amount	Collection	Stumpage	D. B. H. (cm)	Tree H. (m)	Pro	Elevation (m)
68	②	P4037	c/i	20	10	Xishuangbanna	600
	①						
	②						
69	③	P4032	e/001	62	21	Xishuangbanna	600
	②						
	①						
70	③	P4032	c/5	45	18	Xishuangbanna	600
	②						
71	①	P4032	e/015	25	18	Xishuangbanna	600
	②						
70	①	P4032	e/011	4	4	Xishuangbanna	600
	②						
71	②	P4032	c/8	15	10	SiMao	1100
	①						
71	②	P4032	e/21	10	8	SiMao	1000
	①						

No: Species No. (same as Table 1).

Amount: ①: The first ②: The second ③: The third

Collection:

P: The number of collections formed by Kunming Institute of Botany.

U: The number of collections formed by Southwest Forestry College.

F: The number of collections formed by Forest Institute of Yunnan.

Stumpage: Samples obtained from living trees. Letters and figures indicate sample No.

D. B. H.: Breast height diameter.

Tree H.: Tree height.

Pro: provenance (See Fig. 1).

2.2 実験方法

2.2.1 試料の作製

辺材外方部からとった小ブロックから適当な長方体を切り出し、48時間以上水洗を行った。

小材片を切り出し、観察目的によって、木口、まさ目、板目の各面および木口・まさ目、木口・板目の両面の観察面を作製した。小材片を水で濡らしながら光学顕微鏡用滑走式マイクロームにより、5 mm×5 mmの観察表面を仕上げた。これらの試料を次亜塩素酸ナトリウム水溶液で処理したが、樹種によって濃度と処理時間を変化させた。処理の基準は材片の表面がすこし脱色して、白っぽい色になる程度である (Exley et al. 1973)。

処理された試料が水洗中に損傷を受けないように仮に瞬間接着剤で試料台につけ、水洗を行った。洗浄された試料を試料台からとりはずし、アルコール系列で脱水し、室内で気乾した。

ベスチャード壁孔などを道管の外側から観察するために、気乾材を安全剃刀で繊維方向に沿って裂開面(まさ目面と板目面)を作製した (Ohtani 1983)。

作製した試料を導電性樹脂で試料台に固定して試料表面に高真空蒸着装置を用いて炭素と金の二重蒸着を行った。

2.2.2 検 鏡

検鏡には走査電子顕微鏡 (JSM-35CFII) を用い、加速電圧 15 kV で観察し、写真撮影を行った。

3. 結果と考察

3.1 せん孔板

3.1.1 概 説

せん孔板は道管要素以外の広葉樹材構成要素には存在していないもので、広葉樹材のもっとも重要な構造の一つである。国際木材解剖用語集によれば、せん孔板は“道管内において2個の道管要素が互いに癒合する細胞壁面（はじめはせん孔がない）に対する便宜上の用語”と定義されている。

せん孔は道管の成熟過程の最終段階で道管要素の接続部分につくられる。一次壁と細胞間層は分化後期まで開孔になる区域にそのまま残っているが、二次壁はそのほかの部位の内表面に堆積する。その後、せん孔の隔壁 (Partition) は、酵素により破壊され、蒸散流によって消失する (Butterfield・Meylan 1972)。せん孔板の形成については Esau・Hewitt (1940) が光学顕微鏡をもちいて、Butterfield・Meylan (1971)、Ohtani・Ishida (1976a) が SEM を用いて研究している。

せん孔板の形態について、1930年代から Frost (1930)、中国では唐 燿 (1936) など多くの学者によって研究されている。電子顕微鏡、特に SEM による研究は、Butterfield・Meylan (1971, 1974, 1975, 1980)、Meylan・Butterfield (1972b, 1973, 1975)、Parham (1973)、Parameswaran・Liese (1973)、Ishida・Ohtani (1974)、Gray・de Zeeuw (1974)、Ohtani・Ishida (1973, 1976a, 1978)、Schmid・Bass (1984) により行われている。中国産材については、Baas・Zhang (1986) の研究がある。

一般に、上下に隣接している2つの道管要素の半せん孔板の形、大きさは一致していて、完全に対をなしている。しかし、SEM を用いて、Meylan・Butterfield (1973)、Ohtani・Ishida (1973) により、Mismatching perforation plate と言われている相対する二つの半せん孔の形・大きさが異なり、対をなしていない特異なせん孔板が観察された。このようなせん孔板は、もし、上のせん孔が単せん孔で、下のせん孔が階段せん孔のように上下のタイプが異なると、Combination perforation plate (Meylan・Butterfield 1973) と呼ばれている。Mismatching perforation plate は2種類以上のせん孔板をもつ樹種に出現頻度が高い。これらのせん孔板は隣接している細胞の二次壁沈着における協調の欠如の結果生じたものである (Meylan・Butterfield 1975, 1978b)。

3.1.2 せん孔板の分類

道管せん孔は、単せん孔 (せん孔板に単一の大きな穴をもつ) と多孔せん孔 (2個以上の穴をもつ) に分けられ、さらに多孔せん孔は階段せん孔 (せん孔板の楕円形の長軸方向に直角に、

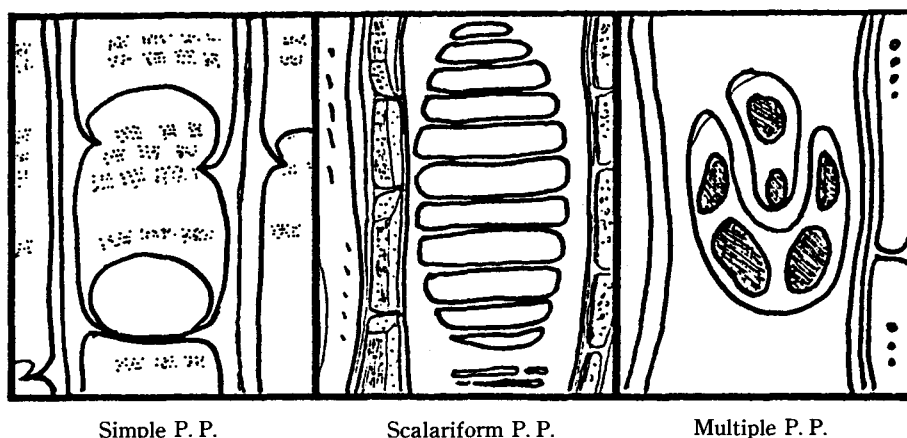


Fig. 2. Diagrammatic representation illustrating the different types of perforation plates.

階段のように壁の消失部分がある), 網状せん孔(網目状の多孔せん孔をもつ)とマオウ型せん孔(円形の穴が小さい群を形づくっているせん孔で, マオウ属に認められる)に分けられる(島地ら 1976, 1985)。研究が進むにつれ, 分岐しているバーがある階段せん孔板や不規則な細長いメッシュが集まったものや, 開孔が不規則で, また, 数も不定なものなどのせん孔も観察されるようになった。Gray・de Zeeuw (1974) は, 多孔せん孔について, 階段せん孔, 網状せん孔, 分岐した階段せん孔, 不規則な網状, 多孔せん孔(マオウ型の代わり)のように分け, 新しい分類方法を提案した。多孔せん孔にいろいろな形が観察されて, 非常に複雑なので, Oh-tani (1983) は多孔せん孔を階段せん孔とそれ以外の多孔せん孔に分けた。筆者らも本論文にこの簡単明瞭な分類方法を使った。即ち, 観察されたせん孔を単せん孔, 階段せん孔と多孔せん孔(階段せん孔以外の多孔せん孔を指す)の三つのタイプに分けた (Fig. 2)。

樹種内に存在するこのようなせん孔のタイプをもとにして, 供試樹種は6グループに分けられた。

Table 3. Grouping of species with reference to the occurrence of perforation plate

Group No.	Number of species (genera, families)	Type of perforation plates		
		Simple	Scalariform	Multiple
1	50(41, 28)	○	—	—
2	6(5, 2)	—	○	—
3	2(2, 2)	○	○	—
4	6(5, 4)	○	—	○
5	6(5, 5)	—	○	○
6	1(1, 1)	○	○	○

○: Present

—: Absent

①単せん孔のみをもつ樹種 ②階段せん孔のみをもつ樹種 ③単せん孔と階段せん孔をもつ樹種 ④単せん孔と多孔せん孔をもつ樹種 ⑤階段せん孔と多孔せん孔をもつ樹種 ⑥単せん孔と階段せん孔と多孔せん孔をもつ樹種。

Table 3 にこれらの 6 グループに分けられた科, 属と樹種数を示す。以下, その順番にせん孔板の微細形態を樹種別に代表的な SEM 写真を示しながら詳述する。

3.1.3 せん孔板の形態

a) 単せん孔のみをもつ樹種のせん孔板の形態

50 樹種に単せん孔のみが存在した (Table 4)。そのうち, 熱帯, 亜熱帯材のものが多い。大部分の単せん孔は Photo 5, 6 に示されているクスノキ科 (Lauraceae) の *Litsea glutinosa* のように, 道管要素の両端に同じ形態のせん孔が存在し, 上下に隣接している道管要素のそれぞれのせん孔の形態も同じで, 整然とした対をなしている。アカネ科 (Rubiaceae) の *Gardenia jasminoides* には単せん孔のせん孔縁にベスチャーが観察された (Photo 7. 8)。しかし, 有縁の程度が顕著なせん孔にはベスチャーがよく発生しているが, そうでないものにはベスチャーがほとんど見つからなかった (Photo 9)。ベスチャーが存在する単せん孔は *Coprosma*, *Damnananthus* (Rubiaceae), *Leptospermum*, *Metrosideros* (Myrtaceae), *Fuchsia* (Onagraceae) などにすでに報告されている (Ohtani 1983, 1987, Baas 1977, Kucera・Meylan・

Table 4. Species with exclusively simple perforation plates

No.	Family	Species
1	Anacardiaceae	<i>Pistacia weinmannifolia</i> J. POISSON. ex FRANCH.
2	Apocynaceae	<i>Alstonia scholaris</i> (LINN.) R. BR.
3	Aceraceae	<i>Acer forrestii</i> DIELS
7	Bignoniaceae	<i>Catalpa duclouxii</i> (DODE) GILMOUR
9	Bombacaceae	<i>Bombax ceiba</i> DC.
10	Burseraceae	<i>Garuga pinnata</i> ROXB.
11	Caesalpiniaceae	<i>Cassia siamea</i> LAMARCK
12	Combretaceae	<i>Terminalia belericoides</i>
13		<i>Terminalia myriocarpa</i> HUERCK. et M.-A.
14	Cerastraceae	<i>Euonymus yunnanensis</i> FRANCH.
16	Euphorbiaceae	<i>Sapium sebiferum</i> (LINN.) ROXB.
17		<i>Macaranga denticulata</i> (BL.) MUELL.-ARG.
19		<i>Cleistanthus saichikii</i>
20		<i>Mallotus philippinensis</i> (LAM.) MUELL.-ARG.
21	Fagaceae	<i>Quercus aquifolioides</i> REHD. et WILS. in SARG.
22		<i>Quercus yunnanensis</i> FRANCH.
23		<i>Quercus acutissima</i> CARR.
25	Guttiferae	<i>Calophyllum polyanthum</i> WALL. ex CHOISY
26	Lauraceae	<i>Litsea glutinosa</i> C. B. ROB.
27		<i>Cinnamomum camphora</i> (LINN.) PRESL.

No.	Family	Species
28	Lythraceae	<i>Lagerstroemia tomentosa</i> FRESL.
33	Meliaceae	<i>Chukrasia tabularis</i> A. JUSS. var. <i>Velutina</i> (WALL.) KING.
34		<i>Melia tosenden</i> SIEB. et ZUCC.
35		<i>Melia azedarach</i> L.
36		<i>Toona ciliata</i> ROEM.
37		<i>Toona ciliata</i> var. <i>yunnanensis</i> (C. DC.) C. Y. WU
38	Mimosaceae	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i> ARN. ex WIGHT
39		<i>Albizia lucidior</i> (STEUDEL) I. NICLSEN
40	Myrtaceae	<i>Syzygium szemaoense</i> MERR. et PERRY
42	Oleaceae	<i>Fraxinus floribunda</i> WALL. in ROXB.
43	Papilionaceae	<i>Dalbergia szemaoensis</i> PRAIN.
44		<i>Dalbergia polyadelpa</i> PRAIN.
45		<i>Erythrina arborescens</i> ROXB.
46		<i>Erythrina lithosperma</i> BI. ex MIQ.
48	Rosaceae	<i>Cerasus clarifolia</i> SCHNEID.
49		<i>Malus rockii</i> REHD.
50	Rubiaceae	<i>Anthocephalus chinensis</i> (LAM.) RICH. ex WALP.
51		<i>Gardenia jasminoides</i> (LINN.) ELLIS.
52	Salicaceae	<i>Populus yunnanensis</i> DODE
53		<i>Populus haoana</i> CHENG. et C. WANG
54		<i>Salix balfouriana</i> SCHNEID. in SARG.
55	Sapindaceae	<i>Arytera litoralis</i> BL
56		<i>Pometia tomentosa</i> (BL.) TEYSM. et BINN.
59	Sapotaceae	<i>Pouteria grandifolia</i> (WALL.) PIERRE.
60	Sonneratiaceae	<i>Duabanga grandiflora</i> (ROXB.) ex DC. WALP.
61	Sterculiaceae	<i>Pterospermum lauceaefolium</i> ROXB.
64	Tiliaceae	<i>Tilia chinensis</i> MAXIM.
65		<i>Tilia paucicostata</i> MAXIM.
66	Ulmaceae	<i>Aphananthe cuspidata</i> (BLUME) PLANCH. in DC.
67		<i>Trema orientalis</i> (L.) BLUME

Butterfield 1977)。50 樹種のうちベスチャード壁孔が16種に認められた(後述)が、ベスチャードせん孔は1種だけにしか存在しなかったため、ベスチャードせん孔の発生は壁孔内でのベスチャーの発生の程度、形態と関係がないと考えられる。ヤナギ科(Salicaceae)の *Salix balfouriana* には、せん孔の周縁が壁孔と癒合している珍しい単せん孔(Photo 10)がまれに観察された。

b) 階段せん孔のみをもつ樹種のせん孔板の形態

階段せん孔のみをもつ樹種はカバノキ科(Betulaceae)の3樹種とモクレン科(Magnoliaceae)の3樹種である(Table 5)。*Alnus nepalensis* には細長い孔が多数平行に並んでいて、北海道のハンノキとよく似ている(Ohtani 1983)。*Betula albo-sinensis* には、上

Table 5. Species with exclusively scalariform perforation plates

Family	Species
Betulaceae	<i>Alnus nepalensis</i> D. DON.
	<i>Betula albo-sinensis</i> BURKILL
	<i>Betula alnoides</i> BUCH-HAM.
Magnoliaceae	<i>Michelia alba</i> DC.
	<i>Paramichelia baillonii</i> (PIERRE) HU
	<i>Talauma gitingensis</i> ELM.

下に隣接する道管要素のそれぞれの細いバーが対をなしており、バーの数が5~25本で、10本前後のものが多く認められた。*Betula alnoides* には、大部分のせん孔板は典型的な階段せん孔板 (Photo 11) であったが、バーが分岐している階段せん孔板 (Photo 13) もときどき観察され、まれに階段状でないせん孔板 (Photo 12) も観察された (呉ら 1987)。カバノキ科 (Betulaceae) の3種は北海道産のカンバ類のせん孔板の構造とほとんど同じである (Ishida・Ohtani 1974, Ohtani・Ishida 1978a)。

モクレン科 (Magnoliaceae) の3樹種は階段せん孔板の形態が非常に似ている。バーの数が少なく、せん孔板の両端に多数の階段壁孔が存在した。Photo 14 に示されているのは *Michelia alba*, Photo 15 は *Paramichelia baillonii*, Photo 16 は *Talauma gitingensis* の階段せん孔板を示している。*Michelia alba* の階段せん孔板はバーの数が2~6本で、しばしば不完全なバーが観察された。このような形態は *Michelia* に属する他の樹種のものと同じである (成 1985, Mclaughlin 1933, Canright 1955)。*Talauma gitingensis* にはほとんど典型的な階段せん孔板存在したが、細い道管に上下に多くの階段壁孔が存在する階段せん孔板が観察された。

c) 単せん孔と階段せん孔をもつ樹種のせん孔板の形態

このグループにはモクレン科 (Magnoliaceae) の *Magnolia heptapeta* とクマツヅラ科 (Verbenaceae) の *Vitex quinata* の2種が属する (Table 6)。2種とも単せん孔と階段せん孔をもっているが、単せん孔のほうが多くて、約80%以上を占めている。*Magnolia heptapeta* では、一般に単せん孔が観察された (Photo 17)。しかし、道管要素の末端壁の傾角が小さい場合、単せん孔の上下両端に階段状の配列の壁孔がよく出現する (Photo 18)。このような壁孔が単せん孔の方へゆくにつれて、壁孔の幅が徐々に大きくなり、壁孔壁の消失してゆく傾向がときどき観察された。その観察例を Photo 20, 21 に示す。Photo 21 は Photo 20 の一部を

Table 6. Species with both simple and scalariform perforation plates

Family	Species
Magnoliaceae	<i>Magnolia heptapeta</i> (BUC'HOZ.) DANDY
Verbenaceae	<i>Vitex quinata</i> (LOUR.) WILL.

拡大したものである。壁孔壁の大部分は消失しているが壁孔壁を構成するマイクロフィブリルが残っている。小さい径の道管要素には道管末端壁の傾角がもっと小さくて、Photo 19のような階段せん孔が認められた。そのようなせん孔板の出現する頻度は低い。*Magnolia heptapeta*に存在するせん孔板の形態は日本産のホオノキ (*M. obovata*) と似ている (Ohtani・Ishida 1978)。 *Vitex quinata* の道管要素には単せん孔のみが存在していると報告されているが (唐 1973), まれに階段せん孔が認められた。観察されたすべての階段せん孔板は Photo 22, 23, 24 に示されているような特異な構造をしている。Photo 23 は Photo 22 のせん孔板の裏側を見た状態を示している (ただし、同一せん孔板ではない)。Photo 24 は Photo 22 の一部の拡大したものである。これらの写真に示されているように、このせん孔板のバーの方向が普通のせん孔板と異なり、接線方向に配向している。このせん孔板は Combination p. p. で、半単せん孔と半階段せん孔の組合せである (呉ら 1987)。同じ形態をしている Simple to scalariform combination perforation plate はニュージーランド産の *Vitex lucens* に存在することがすでに報告されており (Butterfield・Meylan 1975, 1980), *Vitex* に属するいくつかの樹種の共通した特徴であるのかも知れない。

d) 単せん孔と多孔せん孔をもつ樹種のせん孔板の形態

このグループに属しているものは6樹種である (Table 7)。6樹種では、まえのCグループ

Table 7. Species with both simple and multiple perforation plates

Family	Species
Bignoniaceae	<i>Stereospermum tetragonum</i> (WALL.) DC.
Flacourtiaceae	<i>Gynocardia odorata</i> R. BR. in ROXB.
Rosaceae	<i>Sorbus thibetica</i> (CARDOT) HAND.-MAZZ.
Verbenaceae	<i>Gmelina arborea</i> ROXB. <i>Callicarpa arborea</i> ROXB. <i>Callicarpa poilanei</i> P. DOP.

プと同じように単せん孔の方が出現頻度が高い。

ノウセンカズラ科 (Bignoniaceae) の *Stereospermum tetragonum* とクマツヅラ科 (Verbenaceae) の *Gmelina arborea* の2種にはいままでも単せん孔のみが存在すると報告されている (成 1980, 1985, 唐 1973) が、本研究では多孔せん孔が認められた。*Stereospermum tetragonum* の多孔せん孔の一部は Photo 25, 26 に示されている。このような多孔せん孔は多数の形が不規則な小孔をもっている。小孔の直径は2~4 μm で、一つのせん孔板には約1,500個の小孔が観察された (Photo 26)。Chalk (1933) は *Stereospermum leonense* に非常に数多くの小孔をもっているせん孔板を光学顕微鏡で観察した。*Gmelina arborea* の大部分のせん孔は単せん孔 (Photo 27, 28) であった。しかし、Photo 29のような多孔せん孔も存在した。このせん孔板の形態は変化にとんでおり、形、大きさが不均一な小孔が多数存在する網状

のものや、ほぼ同じ大きさの円、楕円形の小孔が 500 以上密集しているもの (Photo 27, 28, 29) が観察された。Photo 30 は Photo 29 の一部を拡大したものである。このような多孔せん孔を有する道管要素では、上下のせん孔が必ず多孔せん孔であり、道管軸に対してほぼ直角に位置している場合が多い (Photo 28)。このような多孔せん孔が単せん孔を有する道管要素と連続して、Combination perforation plate を形づくっている (大谷ら 1988)。材中に不規則に存在しているが、放射複合管孔の場合には多孔せん孔を有する道管要素は同レベルで隣接して出現する。

バラ科 (Rosaceae) の *Sorbus thibetica* には、大部分のせん孔が典型的な単せん孔 (Photo 31) であるが、形が特異な単せん孔 (Photo 32) や多孔せん孔 (Photo 33, 34) がときどき観察された。このようなせん孔板は径の細い道管要素によく出現する (Photo 31)。観察された多孔せん孔はすべて Mismatching p. p. であった。Photo 32 は手前の方は典型的な円形の単せん孔で向こうのほうは 2 本のバーが回って伸びているせん孔板である。Photo 33 のように、こちらは 1 本の太いバーが楕円のせん孔を横切っている。Photo 34 は手前の方に 2 つの開孔があるが、向こう側には多くの開孔がある多孔せん孔である。上述した *Sorbus thibetica* のせん孔板の形態は不規則で、変化にとんでいる。これは日本産のアズキナシ (*Sorbus alnifolia*)、ナナカマド (*Sorbus commixta*)、ウラジロノキ (*Sorbus japonica*) のせん孔板の形態とほぼ同じである (Ohtani・Ishida 1978a)。

Gynocardia odorata の大部分のせん孔板は典型的な単せん孔 (Photo 35) であるが、大きなせん孔の周囲に小孔がある多孔せん孔がときどき観察された。Photo 36 には大きな開孔の左側に 3 つの小孔が存在する。Photo 37 は対をなしていない多孔せん孔である。手前側の大きな開孔の周囲に不規則な長い楕円形の開孔があり、向こう側には大きな開孔の周囲に小孔が散在している。周囲の小孔がもっと多くみられる例は Photo 38 に示されている。このようなせん孔板は短い、曲がっている道管要素に出現する頻度が高い。非常に短くて急に曲がっている道管要素に Photo 39 に示されているような多孔せん孔が認められた。短い道管要素の上下にある多孔せん孔が隣接する道管要素の単せん孔と接続して Simple to multiple combination p. p. をつくっている。

Callicarpa の 2 種では、せん孔板の形態がほぼ同じである。大部分は単せん孔 (Photo 40) であるが、Photo 41, 42 に示されている 2~3 個の大きなせん孔が集まってできた珍しい多孔せん孔も観察された。

e) 階段せん孔と多孔せん孔をもつ樹種のせん孔板の形態

このグループには 6 樹種が含まれ、科、属、樹種名は、Table 8 に示されている。

ツツジ科 (Ericaceae) の *Rhododendron rubiginosum* とヌマミズキ科 (Nyssaceae) の *Comptotheca acuminata* の 2 種には早材に典型的な階段せん孔が、年輪境界付近の晩材には多孔せん孔が存在している。Photo 43, 44 はこの 2 樹種の年輪境界付近のまき目面の写真で、右

Table 8. Species with both scalariform and multiple perforation plates

Family	Species
Ericaceae	<i>Rhododendron rubiginosum</i> FRANCH.
Nyssaceae	<i>Comptothea acuminata</i> DECNE
Sabiaceae	<i>Meliosma cuneifolia</i> FRANCH.
Saurauiceae	<i>Saurauia tristyla</i> DC.
Teaceae	<i>Schima argentea</i> PRITZ. <i>Schima wallichii</i> (DC.) KORTH.

側の早材道管には典型的な階段せん孔が、左側の晩材道管には多孔せん孔が存在している。Photo 45は *Comptothea acuminata* で、右側の年輪境界に近い晩材道管には多孔せん孔のみみられるが、左側の晩材道管には階段せん孔と多孔せん孔の中間型せん孔板のみみられる。Photo 46に示されているのは早材にある典型的な階段せん孔である。Photo 47は多孔せん孔の拡大像であり、対をなさずせん孔の端にマイクロフィブリルが存在している。*Rhododendron rubiginosum* では、Photo 48に示されているように左側年輪境界付近にある晩材道管には多孔せん孔があり、右側の早材には階段せん孔がある。Photo 49は多孔せん孔の一部を拡大した像で、せん孔にマイクロフィブリルが残っている。

アブキ科 (Sabiaceae) の *Meliosma cuneifolia*, タカサゴシラタマ科 (Saurauiceae) の *Saurauia tristyla* とツバキ科 (Theaceae) の *Schima argentea*, *Schima wallichii* の4樹種では大部分のせん孔板が階段せん孔板で、多孔せん孔も認められた。しかし、これらの樹種ではせん孔板の形態の変動と道管要素の形態や年輪内の位置との関係を確認することが出来なかった。*Meliosma cuneifolia* は階段せん孔と多孔せん孔をもっている。Photo 50, Photo 51はこの材によく出現した典型的な階段せん孔で、この樹種の階段せん孔はPhoto 52に示されているようにせん孔板の上下の部分が典型的な階段状になっていない。このような開孔が多くなると、Photo 53のように多孔せん孔になると考えられる。この樹種にはまれにPhoto 54, 55のような多孔せん孔も観察された。*Saurauia tristyla* の階段せん孔をPhoto 56に、多孔せん孔をPhoto 57に示した。この樹種の階段せん孔板はバーが分岐する傾向が認められた (Photo 56, 58)。Photo 58のようなバーが分岐しているせん孔は、この樹種の階段せん孔と多孔せん孔の中間型と言えるであろう。この樹種の短い道管要素にPhoto 59に示されるような特異な Combination p. p. が観察された。Photo 60はPhoto 59の一部を拡大したものである。*Schima argentea* の階段せん孔をPhoto 61に、多孔せん孔はPhoto 62に、また、*Schima wallichii* の階段せん孔をPhoto 63に示した。Photo 64, 65に示されているようにこの樹種にはバーが対をなしていない Mismatching p. p. が観察された。Photo 61~65に示されているように *Schima* の2樹種間ではせん孔板の形態がかなり異なった。

f) 単せん孔と階段せん孔と多孔せん孔をもつ樹種のせん孔板の形態

Table 9. Species with simple, scalariform and multiple perforation plates

Family	Species
Euphorbiaceae	<i>Baccaurea ramiflora</i> LOUR.

このタイプはトウダイグサ科 (Euphorbiaceae) の *Baccaurea ramiflora* 1種だけであった (Table 9)。観察された単せん孔は円形のものより楕円形のものが多い (Photo 66)。しばしば Photo 67 のように不規則な形の単せん孔が出現した。その外、バーの細い階段せん孔、階段状のせん孔の周囲に多数の小孔があるせん孔板 (Photo 69)、複雑な形をしている多孔せん孔板 (Photo 68) も認められた。この樹種のせん孔板の形態は変化にとんでいる。

3.1.4 要 約

1) せん孔板の形態と分類

供試材に観察されたせん孔を単せん孔、階段せん孔と多孔せん孔 (階段せん孔を除いた多孔せん孔) の3種類に分けた。さらに、これをもとにして供試樹種を a. 単せん孔のみ (50種)、b. 階段せん孔のみ (6種)、c. 単せん孔と階段せん孔 (2種)、d. 単せん孔と多孔せん孔 (6種)、e. 階段せん孔と多孔せん孔 (6種)、f. 単せん孔と階段せん孔と多孔せん孔 (1種) をもつ樹種の6グループに分けた。

単せん孔のみをもつ樹種では、*Gardenia jasminoides* のせん孔縁にベスチャーが観察され、*Salix balfouriana* にはせん孔の周縁の一部が壁孔と癒合する単せん孔が認められた。

階段せん孔のみをもつグループのモクレン科の3種はバーの数が少なく、せん孔の上下によく階段状の壁孔が観察された。カバノキ科の3種には典型的な階段せん孔が多いが、2、3本のバーが分岐している階段せん孔も時々観察された。これら6種のせん孔板とも日本産の同属の樹種のせん孔板の形態と似ている。

2) せん孔板の形態変動

2種類以上のせん孔板をもつ樹種でそれらのせん孔板の形態変動が道管要素の形態または道管要素の年輪内の位置と関係があるものとなないものの両方が認められた。

道管要素の形態と関係があるものは4種である (*Gynocardia odorata*, *Magnolia heptapeta*, *Sorbus thibetica*, *Saurauia tristyla*)。2種類のせん孔板をもつ樹種で、単せん孔と階段せん孔または単せん孔と多孔せん孔を持つ樹種では、単せん孔の方が出現数が多い。階段せん孔と多孔せん孔の場合では、階段せん孔のほうが出現数が多い。単せん孔 > 階段せん孔 > 多孔せん孔の順番になっている。一般に、出現数の少ない方のせん孔板は径の小さい道管要素または、短くて、曲がっている道管要素に出現する頻度が高い。

道管要素の一年輪内の位置と関係があるものは2種である (*Rhododendron rubiginosum*, *Comptothea acuminata*)。階段せん孔と多孔せん孔の2種類のせん孔板が観察されたが階段せん孔の数が多い。変動が年輪境界付近で容易に観察され、早材、晩材に関係があることが認

められた。

せん孔板の形態変動は、道管要素の年輪内の位置や形態との関係が認められなかったものは7種である。せん孔板の出現数の変化は単せん孔>階段せん孔>多孔せん孔の順番に従っている。単せん孔と階段せん孔、単せん孔と多孔せん孔の場合は単せん孔の数が多く、階段せん孔と多孔せん孔の場合は、階段せん孔の数が多く、単せん孔と階段せん孔と多孔せん孔の場合もそうである。7種のうち、*Stereospermum tetragonum*, *Gmelina arborea*, *Vitex quinata*の3種は、いままで単せん孔のみと報告されていたが、今回の観察では、多孔せん孔も認められた。これらの多孔せん孔は比較的まれに存在し、Mismatching p. p. で、特異な形態をしている。

3) Mismatching p. p. について

2種類以上のせん孔板をもつ樹種に Mismatching p. p. の出現する可能性が極めて高い。Mismatching p. p. は単せん孔と階段せん孔をもつグループの2樹種では2樹種ともに、単せん孔と多孔せん孔をもつグループの6樹種ではすべての樹種に、階段せん孔と多孔せん孔をもつグループの6樹種でも6樹種にそれぞれ観察された。単せん孔と多孔せん孔をもつグループの1樹種にも Mismatching p. p. が観察された。上述のように15樹種にすべて Mismatching p. p. が存在した。この傾向は Meylan・Butterfield (1973, 1975, 1978b) のニュージーランド産材のせん孔板についての研究結果、Ohtani・Ishida (1976, 1978a), Ohtani (1983) の日本産材のせん孔板についての研究結果とほぼ同じである。

3.2 壁 孔

3.2.1 概 説

壁孔は細胞の二次壁の孔隙及びその孔隙を外側において閉じる壁(膜)の総称であり、内側は細胞内こうに向かって開いている。主要部分は壁孔こう及び壁孔壁からなる(国際木材解剖用語集)、道管壁には道管相互壁孔(以下VV壁孔と略記)や道管とその他の隣接細胞の間の壁孔、即ち、道管放射組織間壁孔(以下VR壁孔と略記)、道管軸方向柔細胞間壁孔(以下VP壁孔と略記)、道管木部繊維間壁孔(以下VF壁孔と略記)が多数存在している。雲南主要広葉樹材の道管壁孔の形態や配列はすでに光学顕微鏡により研究されている(唐 1973, 成 1980, 1985)。それらの研究は道管壁孔の形態と配列が樹種固有の特徴を示し、樹種識別の重要な指標となることを示唆している。

壁孔は普通有縁壁孔と単壁孔に分けられ、さらに、有縁壁孔の正面から見たときの孔口の形により、レンズ状孔口、結合孔口に分けられる。そのほか、細長く幅の変化がほとんどない孔口をもつものを線形壁孔、石細胞に見られるように細い管状の壁孔こうが接合した単壁孔を分岐壁孔という(島地ら 1976)。広葉樹材の道管要素にある壁孔は有縁壁孔である。そのうち、VV壁孔の形態と配列がしばしば樹種の特徴を示すことが多い。VV壁孔はその配列により、対列状、交互状、階段状の種類に分けられる(島地ら 1985)。VR壁孔の形態と配列も樹

種の特徴を示すことが多い。VR 壁孔は階段状、柵状、円形～楕円形に分けられている (島地ら 1985)。

“壁孔こうの全面または一部が二次壁からの突起物で覆われている有縁壁孔”と定義されているベスチャード壁孔は、Bailey(1933)により光学顕微鏡を用いて 152 科 979 属 2,660 樹種のそれらの有無、形態が観察された。雲南材のベスチャード壁孔については光学顕微鏡によりそれらの有無が記載されている (唐 1973)。電子顕微鏡を木材組織の研究に導入してから、透過電子顕微鏡 (TEM) を用いて、Côté・Day (1962), Schmid・Machado (1964), 原田 (1968) はベスチャード壁孔の微細構造を研究した。Ishida・Ohtani (1970), Scurfield・Silva (1970), Meylan・Butterfield (1974), Parameswaran・Liese (1974), Ohtani・Ishida (1976b) Vliet (1978) らは SEM によりベスチャード壁孔の微細形態を研究した。

Meylan・Butterfield (1974) はニュージーランド産の 6 科 14 属 26 樹種のベスチャード壁孔を観察して、Bailey (1933) によるベスチャーの形の分類、即ち、フィラメント状、じゅず状、珊瑚状の分類が困難で、必ずしも満足すべきものではないと指摘した。Ohtani・Ishida (1976b) は日本産の 4 科 17 属 20 樹種のベスチャード壁孔の微細形態を観察し、ベスチャーを形の特徴により細分し、全部で 15 タイプに分けた。Vliet (1978) は、ベスチャード壁孔を 2 つのタイプに分けた。(1)壁孔縁全面から壁孔室に生じているベスチャーがほぼ同じ太さで、密に枝分れて、壁孔室に満たしているもの。(2)壁孔道付近の壁孔縁から壁孔室に生じて、細い枝がいろいろな広がり分岐しているものである。かれらはベスチャード壁孔が樹種的な特徴を示していることを主張している。

3.2.2 VV 壁孔の形態と配列

観察された VV 壁孔の配列は対列状、階段状と交互状に分けられた (Fig. 3)。その分類を

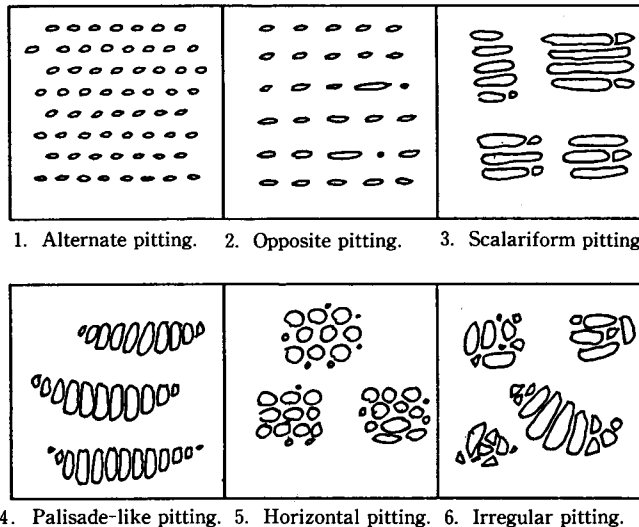


Fig. 3. Diagrammatic representation illustrating the different types of pitting in vessel wall.

もとにして供試樹種を3つに分けた。対列壁孔をもつグループはタカサゴシラタマ科 (Saurauaceae) の *Saurauia tristyla* とアワブキ科 (Sabiaceae) の *Meliosma cuneifolia* で、階段壁孔をもつグループはモクレン科 (Magnoliaceae) の4樹種とツバキ科 (Theaceae) の *Schima* 属の2樹種である。交互壁孔をもつグループは樹種が非常に多くて62樹種であった (Table 10)。

Table 10. Arrangement of intervacular pitting

No.	Family	Species	Sca	O	A
29	Magnoliaceae	<i>Magnolia heptapeta</i>	○		
30		<i>Michelia alba</i>	○		
31		<i>Paramichelia baillonii</i>	○		
32		<i>Talauma gitingensis</i>	○		
62	Theaceae	<i>Schima argentea</i>	○		
63		<i>Schima wallichii</i>	○		
57	Sabiaceae	<i>Meliosma cuneifolia</i>		○	
58	Saurauaceae	<i>Saurauia tristyla</i>		○	
5	Betulaceae	<i>Betula albo-sinensis</i>			○#
6		<i>Betula alnoides</i>			○#
11	Caesalpinaceae	<i>Cassia siamea</i>			○#
14	Cerastraceae	<i>Euonymus yunnanensis</i>			○#
16	Euphorbiaceae	<i>Sapium sebiferum</i>			○#
33	Meliaceae	<i>Chukrasia tabularis</i>			○#
36		<i>Toona ciliata</i>			○#
37		<i>Toona ciliata</i> var. <i>yunnanensis</i>			○#
38	Mimosaceae	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>			○#
39		<i>Albizia lucidior</i>			○#
45	Papilionaceae	<i>Erythrina arborescens</i>			○#
46		<i>Erythrina lithosperma</i>			○#
55	Sapindaceae	<i>Arytera littoralis</i>			○#
56		<i>Pometia tomentosa</i>			○#
66	Ulmaceae	<i>Aphananthe cuspidata</i>			○#
1	Anacardiaceae	<i>Pistacia weinmannifolia</i>			○
2	Apocynaceae	<i>Alstonia scholaris</i>			○
3	Aceraceae	<i>Acer forrestii</i>			○
4	Betulaceae	<i>Alnus nepalensis</i>			○
7	Bignoniaceae	<i>Catalpa duclouxii</i>			○
8		<i>Stereospermum tetragonum</i>			○
9	Bombacaceae	<i>Bombax ceiba</i>			○
10	Burseraceae	<i>Garuga pinnata</i>			○
12	Combretaceae	<i>Terminalia belericoides</i>			○
13		<i>Terminalia myriocarpa</i>			○
15	Ericaceae	<i>Rhododendron rubiginosum</i>			○

No.	Family	Species	Sca	O	A
17	Euphorbiaceae	<i>Macaranga denticulata</i>			○
18		<i>Baccaurea ramiflora</i>			○
19		<i>Cleistanthus saichikii</i>			○
20		<i>Mallotus philippinensis</i>			○
21	Fagaceae	<i>Quercus aquifolioides</i>			(○)
22		<i>Quercus yunnanensis</i>			(○)
23		<i>Quercus acutissima</i>			(○)
24	Flacourtiaceae	<i>Gynocardia odorata</i>			○
25	Guttiferae	<i>Calophyllum polyanthum</i>			○
26	Lauraceae	<i>Litsea glutinosa</i>			○
27		<i>Cinnamomum camphora</i>			○
28	Lythraceae	<i>Lagerstroemia tomentosa</i>			○
34	Meliaceae	<i>Melia toosenden</i>			○
35		<i>Melia azedarach</i>			○
40	Myrtaceae	<i>Syzygium szemaoense</i>			○
41	Nyssaceae	<i>Comptotheca acuminata</i>			○
42	Oleaceae	<i>Fraxinus floribunda</i>			○
43	Papilionaceae	<i>Dalbergia szemaoensis</i>			○
44		<i>Dalbergia polyadelpha</i>			○
47	Rosaceae	<i>Sorbus thibetica</i>			○
48		<i>Cerasus clarifolia</i>			○
49		<i>Malus rockii</i>			○
50	Rubiaceae	<i>Anthocephalus chinensis</i>			○
51		<i>Gardenia jasminoides</i>			○
52	Salicaceae	<i>Populus yunnanensis</i>			○
53		<i>Populus haoana</i>			○
54		<i>Salix balfouriana</i>			○
59	Sapotaceae	<i>Pouteria grandifolia</i>			○
60	Sonneratiaceae	<i>Duabanga grandiflora</i>			○
61	Sterculiaceae	<i>Pterospermum lauceaefolium</i>			○
64	Tiliaceae	<i>Tilia chinensis</i>			○
65		<i>Tilia paucicostata</i>			○
67		<i>Trema orientalis</i>			○
68	Verbenaceae	<i>Gmelina arborea</i>			○
69		<i>Vitex quinata</i>			○
70		<i>Callicarpa arborea</i>			○
71		<i>Callicarpa poilanei</i>			○

(○) : Intervascular pits were scarcely found.

○# : Coalescent aperture.

No. : Species number.

Sca : Scalariform pitting.

O : Opposite pitting.

A : Alternate pitting.

a) 対列壁孔をもつ樹種の VV 壁孔の形態

対列壁孔をもつ広葉樹の数は少ない(島地ら 1985), 今回の観察結果でも, 2 樹種だけであった。Photo 70 は *Saurauia tristyla* の対列壁孔である。

b) 階段壁孔をもつ樹種の VV 壁孔の形態

観察されたモクレン科の 4 樹種では全部階段壁孔であった。Photo 71 には *Magnolia heptapeta*, Photo 72 には *Paramichelia baillonii*, Photo 73 には *Michelia alba* の階段壁孔が示されている。細長い壁孔が道管壁に階段状に連続して配列している。日本産のホオノキ (*Magnolia obovata*) やオガタマノキ (*Michelia compressa*) とほぼ同じである(島地ら 1976)。ツバキ科 (Theaceae) の *Schima argentea* と *Schima wallichii* は階段壁孔であるが階段壁孔から対列壁孔への移行型がときどき認められた。Photo 74 には *Schima argentea* の階段壁孔が示されている。*Magnolia heptapeta* にもそのような移行型がよく観察された (Photo 75, 79)。須藤 (1970) は「南洋材」のモクレン科 (Magnoliaceae) の *Magnolia*, *Michelia* と *Talauma* 3 属の道管壁に階段壁孔を観察したことを記録した。島地・伊東 (1982) は階段壁孔がフサザクラ属 (*Eaotelea*), カツラ属 (*cercidiphyllum*), モクレン科 (Magnoliaceae), ハイノキ属 (*Symplocos*), ガマズミ属 (*Viburnum*) などにあることを記載している。

c) 交互壁孔をもつ樹種の VV 壁孔の形態

交互壁孔が 62 樹種に観察された, それらの科名, 属名, 樹種名が Table 10 に示されている。交互壁孔は比較的疎に或は密に配列している。壁孔の形や大きさは樹種間で差異がある場合もあるが, 孔口の特徴が一番明瞭なので, 本研究は結合孔口だけをとりあげて述べる。15 樹種に結合孔口が認められた (Table 10)。Photo 76 には *Sapium sebiferum*, Photo 77 には *Aphananthe cuspidata* の結合孔口が示されている。結合孔口は普通 2~4 個の壁孔口が連続して長い溝状になっているが, *Betula albo-sinensis* と *Betula alnoides* の結合孔口には 5~8 個孔口を結合している結合孔口がよく観察された (Photo 78)。

3.2.3 VR 壁孔の形態と配列

1) VV 壁孔とほぼ同じもの

VR 壁孔の形態と配列は樹種によって差があるが, 大きく分けると, VV 壁孔とほぼ同じもの及び VV 壁孔とまったく違うものの二つに分けられる。VV 壁孔とほぼ同じ VR 壁孔をもつ樹種は 41 種で, 約 60% を占めている。それらの VR 壁孔は階段状のモクレン科 (Magnoliaceae) の 4 樹種 (Photo 79) とツバキ科 (Theaceae) の 2 種 (Photo 80, 81) と対列状の *Saurauia tristyla* を除き, 一般に孔口はレンズ状, 円形の形をしていて, 配列もほとんど交互状である。

2) VV 壁孔と違うもの

VV 壁孔の形態と違うものは 30 樹種である。それらの形によって, 楕円形, 大きな円形と細長い円形のものに分けられ, 配列によって, 柵状 (垂直なもの), 階段状 (6 樹種があった

が、VV 壁孔と同じ)、水平状集合(ほぼ水平に数個の壁孔が集まったもの)、不規則な集合(形や配列が不規則である壁孔が数個集まったもの)に分けられた (Fig. 3)。そのほか、柵状の移行型、柵状と不規則な集合の中間型と、階段状と対列状の中間型も存在した (Table 11)。

Table 11. Arrangement of ray-vessel pitting.

Species	P	Sca	H A	I A
<i>Quercus aquifolioides</i>	○			
<i>Quercus yunnanensis</i>	○			
<i>Quercus acutissima</i>	○			
<i>Calophyllum polyanthum</i>	○○◇			○
<i>Duabanga grandiflora</i>	○○◇			○
<i>Aphananthe cuspidata</i>	○○◇			○
<i>Thema orientalis</i>	○○◇			○
<i>Magnolia heptapeta</i>		○		
<i>Michelia alba</i>		○		
<i>Paramichelia baillonii</i>		○		
<i>Talauma gitingensis</i>		○		
<i>Schima argentea</i>		○		
<i>Schima wallichii</i>		○		
<i>Pistacia weinmannifolia</i>		△		
<i>Garuga pinnata</i>		△		
<i>Euonymus yunnanensis</i>		△		
<i>Catalpa duclouxii</i>			○	
<i>Bombax ceiba</i>			○	
<i>Rhododendron rubiginosum</i>			○	
<i>Sapium sebiferum</i>			○	
<i>Cleistanthus saichikii</i>			○	
<i>Mallotus philippinensis</i>			○	
<i>Gynocardia odorata</i>			○	
<i>Litsea glutinosa</i>			○	
<i>Cinnamomum camphora</i>			○	
<i>Lagerstroemia tomentosa</i>			○	
<i>Melia toosenden</i>			○	
<i>Melia azebarach</i>			○	
<i>Populus yunnanensis</i>			○	
<i>Populus haoana</i>			○	
<i>Salix balfouriana</i>			○	
<i>Meliosma cuneifolia</i>			○	
<i>Tilia chinensis</i>			○	
<i>Tilia paucicostata</i>			○	
<i>Gmelina arborea</i>			○	
<i>Vitex quinata</i>			○	
<i>Callicarpa arborea</i>			○	

Species	P	Sca	HA	IA
<i>Terminalia belericoides</i>				○
<i>Terminalia myriocarpa</i>				○
<i>Macaranga denticulata</i>				○
<i>Baccaurea ramiflora</i>				○
<i>Syzygium szemaoense</i>				○
<i>Pouteria grandifolia</i>				○

Alternate and opposite ray-vessel pitting similar to the intervacular pitting are not included in the table.

- P : Elongated elliptic pits in a palisade-like arrangement.
 Sca : Scalariform pitting.
 HA : Elliptic pits in a horizontal arrangement.
 IA : Elongated elliptic pits in an irregular arrangement.
 ◇ : Intermediate pitting between palisade-like and irregular arrangements.
 △ : Intermediate pitting between scalariform and opposite.

a) 柵状配列

柵状配列を持つ樹種はブナ科 (Fagaceae) の *Quercus aquifolioides*, *Quercus yunnanensis* と *Quercus acutissima* である。Photo 82, 83 にはそれらの VR 壁孔を示している。この形態と配列は日本のカン類とほとんど同じである (島地ら 1985)。

オトギリソウ科 (Guttiferae) の *Calophyllum polyanthum*, ハマザクロ科 (Sonneratiaceae) の *Duabanga grandiflora* とニレ科 (Ulmaceae) の *Aphananthe cuspidata*, *Trema orientalis* の 4 樹種には、柵状の壁孔の外に柵状と不規則な集合の中間型も存在した。Photo 84, 92 は *Duabanga grandiflora* の, photo 91 は *Aphananthe cuspidata* の柵状の VR 壁孔と不規則な配列の VR 壁孔が示されている。Photo 85 には斜めに配列している *Trema orientalis* の柵状と不規則な集合の中間型の VR 壁孔, Photo 86 には *Calophyllum polyanthum* の同様な壁孔が示されている。

b) 階段状配列

階段状配列になる VR 壁孔をもつ樹種はモクレン科 (Magnoliaceae) とツバキ科 (Theaceae) の 6 樹種で、VV 壁孔の形態と同じなのでここでは省略する。ウルシ科 (Anacardiaceae) の *Pistacia weinmannifolia* (Photo 87), カンラン科 (Burseraceae) の *Garuga pinnata* (Photo 88), ニシキギ科 (Cerastraceae) の *Euonymus yunnanensis* には、階段状と対列状の中間型が存在した。

c) 水平状集合

水平状集合になっている配列を持つ樹種は多く、21 種が観察された。ここでいくつかの例を上げる。Photo 89 はイイギリ科 (Flacourtiaceae) の *Gynocardia odorata*, Photo 90 はヤナギ科 (Salicaceae) の *Populus yunnanensis* の VR 壁孔を示している。このように配列し

ている壁孔について、島地ら(1976)は *Populus maximowiczii* の例を上げ、大きい網状と分類している。

d) 不規則な集合

不規則な集合の配列をしている樹種はトウダイグサ科 (Euphorbiaceae) の *Macaranga denticulata* (Photo 93), *Baccaurea ramiflora*, アカテツ科 (Sapotaceae) の *Pouteria grandifolia*, フトモモ科 (Myrtaceae) の *Syzygium szemaoens* (Photo 129, 130), シクンシ科 (Combretaceae) の *Terminalia belericoides* (Photo 128), *Terminalia myriocarpa* の 6 種である。それらの写真に示されているように楕円形と大きい円形の壁孔が不規則で集まっている。

3.2.4 VP 壁孔の形態と配列

VP 壁孔の形態と配列は VR 壁孔のそれらとほぼ同じである (ただし、柵状および不規則な集合の一部を除く)。

3.2.5 ベスチャード壁孔

観察されたベスチャード壁孔は 10 科 13 属 16 樹種であった。これらの科にベスチャード壁孔の存在することは既に Bailey (1933) と Metcalfe・Chalk (1983) により報告されている。

Table 12. Presence or absence of vestures in the vessel pits of the species examined

Family	Species	VV pit	VR pit	VP pit
Apocynaceae	<i>Alstonia scholaris</i>	○	○	○
Caesalpiniaceae	<i>Cassia siamea</i>	○	○	○
Euphorbiaceae	<i>Cleistanthus saichikii</i>	○	○	○
Mimosaceae	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	○	○	○
	<i>Albizia lucidior</i>	○	○	○
Papilionaceae	<i>Dalbergia szemaoensis</i>	○	○	○
	<i>Dalbergia polyadelphica</i>	○	○	○
	<i>Erythrina arborescens</i>	○	○	○
	<i>Erythrina lithosperma</i>	○	○	○
Rubiaceae	<i>Anthocephalus chinensis</i>	○	○	○
	<i>Gardenia jasminoides</i>	○	○	○
Combretaceae	<i>Terminalia belericoides</i>	○	○—	○—
	<i>Terminalia myriocarpa</i>	○	○—	○—
Lythraceae	<i>Lagerstroemia tomentosa</i>	○	○—	○—
Myrtaceae	<i>Syzygium szemaoense</i>	○	○—	○—
Sonneratiaceae	<i>Duabanga grandiflora</i>	○	○—	○—

○ : vested pit

— : non-vestured pit

VV pit : intervascular pit

VR pit : vessel to ray parenchyma pit

VP pit : vessel to axial parenchyma pit

16 樹種の VV 壁孔は全てベスチャード壁孔であるが、VR 壁孔と VP 壁孔にはそれらの壁孔の形態によって全てベスチャード壁孔であるものと一部ベスチャード壁孔であるものとの両方が認められた (Table 12)。

1) VV 壁孔のベスチャーの形態

観察された 16 樹種の VV 壁孔のベスチャーの形は、フィラメント状、じゅず状、珊瑚状、枝分かれているもの、枝分かれしていないものなど非常に複雑で、それらの形による分類が困難であった。ベスチャーの発生部位は壁孔の内孔口付近の壁孔縁(以下内孔口周縁と略記)壁孔室に面する壁孔縁(以下壁孔室壁と略記)であり、壁孔道には発生していない (Photo 96, 107, 121)。ベスチャーの発生の程度は軽微、顕著、非常に顕著などに分けられるが、それらの明確な区別の基準がない。しかしながら、ベスチャーの発生程度は発生部位と関連して、一定のパターンを示している。ベスチャーがあまり発達していない場合は、形が単純で小さいベスチャーが壁孔縁から外孔口の中心に伸びている。ベスチャーがよく発達している場合は、枝わかれした複雑な形をしている多くのベスチャーが壁孔縁から外、内孔口の中心に伸びて、外・内孔口を閉塞している (Wu 1988)。16 樹種のベスチャード壁孔の形態観察結果から、ベスチャーの形を無視して、それらの発生部位と発生程度によって、5つのタイプに分類した (Fig. 4)。次にこれら5つのタイプについて説明する。

A. 軽微なベスチャード壁孔。少数の小さなベスチャーが外孔口付近の壁孔室壁と内孔口周縁から発生し、外孔口の中心と内孔口の中心に向かって伸びている。外、内孔口とも閉塞されない。

B. 顕著なベスチャード壁孔。壁孔室壁から発生しているベスチャーが多く、密集している。外孔口は閉塞されている。しかし、内孔口周縁から発生しているベスチャーはあまり発達せず、中心に伸びているベスチャーの数が少なくて、内孔口を閉塞していない。

C. 非常に顕著なベスチャード壁孔、壁孔室壁や内孔口周縁から発生しているベスチャーが非常に発達して、壁孔室をはほぼ満たしている。内孔口もベスチャーによって閉塞されている。

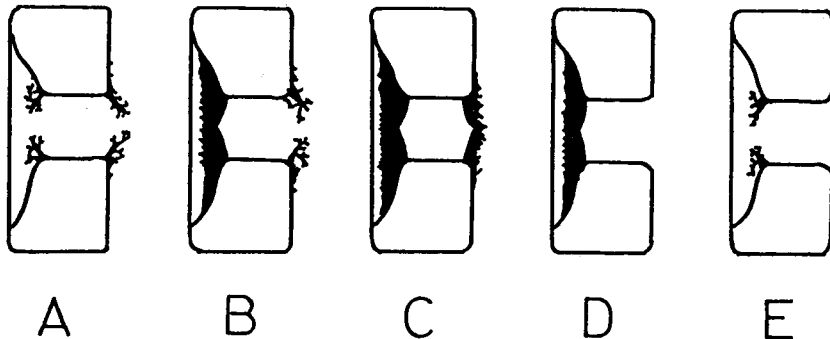


Fig. 4. Diagrammatic representation illustrating the different types of vesturing in intervacular pitting.

D. 中庸のベスチャード壁孔。壁孔室壁から発生しているベスチャーが密集して壁孔室をほぼ満たしており、外孔口も閉塞している。しかし、内孔口周縁にはベスチャーが発生していない。

E. 非常に軽微なベスチャード壁孔。内孔口周縁にはベスチャーが発生していない。外孔口附近の壁孔室壁からベスチャーが発生しているが、形が小さく、外孔口を閉塞していない。

Fig. 4 は上に述べた5つのタイプをベスチャード壁孔の中央断面で示した略図である。

a) A タイプをもつ樹種のベスチャード壁孔の形態

A タイプのベスチャード壁孔をもつ樹種はジャケツイバラ科 (Caesalpiniaceae) の *Cassia siamea*, マメ科 (Papilionaceae) の *Dalbergia polyadelpha*, *Erythrina lithosperma* の3種である。Photo 94 は *Cassia siamea* の道管の内側からみたベスチャード壁孔で、ベスチャーは枝分かれしていると枝分かれないベスチャーが内孔口周縁に発生し、内孔口の中心へ伸びているが、内孔口を閉塞していない。Photo 95 は *Cassia siamea* の道管の外側から観察された写真であるが、壁孔室壁から発生しているベスチャーが少なく、外孔口を閉塞するに至っていない。Photo 96 は *Cassia siamea* の壁孔の横断面で、壁孔室壁と内孔口周縁からベスチャーが発生しているが、壁孔道には発生していない。Photo 97 には *Erythrina lithosperma* の道管内こう側から見たベスチャード壁孔を示した。また、Photo 98 には *Erythrina lithosperma* の道管外側から見たベスチャード壁孔が示されている。Photo 99 は *Dalbergia polyadelpha* の VV 壁孔を示している。写真の右側は向こう側の道管を外側からみた状態で、壁孔室壁から発生しているベスチャーは枝分かれしているものとしていないものがあり、壁孔壁の方へ伸びているが、外孔口は閉塞されていない。写真の左側は手前の道管の VV 壁孔で、内孔口周縁にわずかな小さいベスチャーが散在している。また、Photo 99 に示されているように、外孔口に向かってベスチャーが枝分かれしているが、外孔口を閉塞するには至っていない。

b) B タイプをもつ樹種のベスチャード壁孔の形態

B タイプの樹種はオジギソウ科 (Mimosaceae) の *Albizia lucidior*, マメ科 (Papilionaceae) の *Erythrina arborescens*, *E. lithosperma*, アカネ科 (Rubiaceae) の *Gardenia jasminoides* の4種である。Photo 100, 103 に *Erythrina arborescens* と *Albizia lucidior* の道管の外側から観察された写真を示す。壁孔室では枝分かれしているベスチャーが複雑に絡み合っただけで壁孔室をみたし、外孔口を閉塞している。Photo 101, 102 には *Albizia lucidior* の道管の内側からみたベスチャード壁孔を示す。内孔口の周縁には枝分かれしているベスチャーと枝分かれないベスチャーが発生している、ベスチャーは内孔口を閉塞するには至っていない。

c) C タイプをもつ樹種のベスチャード壁孔の形態

C タイプのベスチャード壁孔をもつ樹種はキョウチクトウ科 (Apocynaceae) の *Alstonia scholaris* (Photo 104, 105), トウダイグサ科 (Euphorbiaceae) の *Cleistanthus saichikii*

(Photo 106, 107), フトモモ科(Myrtaceae)の *Syzygium szemaense* (Photo 108, 109, 110), アカネ科 (Rubiaceae) の *Anthocephalus chinensis* (Photo 111, 112) である。このタイプのベスチャーは非常に発達している。外, 内孔口ともにベスチャーによって閉塞されている。Photo 104, 105 には *Alstonia scholaris* のベスチャード壁孔を示す。道管の内側からみた場合に特徴的なベスチャーが長く伸び, 隣接する壁孔に接近している。ベスチャーの長さが, 3 μm にまで発達しているものもある。隣接する壁孔の内孔口周縁から発生しているベスチャーが互いに接続している (Photo 104)。Photo 106 に示されているように, *Cleistanthus saichikii* の分岐しているベスチャーは内孔口の中心へ伸び, 内孔口を閉塞している。しかし, 多くの分岐していないベスチャーも内孔口の近辺に観察された。Photo 107 に同様なベスチャード壁孔を道管の外側からみた状態を示す。ベスチャーが壁孔室を満たしている。*Syzygium szemaense* では複雑に分岐したベスチャーが内孔口周縁と壁孔室に発生し, ベスチャーの先端では網状を呈している (Photo 108, 110)。Photo 109 は VV 壁孔の横断面であるが, 長い壁孔道にはベスチャーが発生していなかった。非常によく発達しているベスチャーが内孔口周縁にも発生し, 内孔口を完全に閉塞している。外孔口周縁と壁孔室壁から発生するベスチャーは壁孔室を満たし, 壁孔壁に接近している。*Anthocephalus chinensis* のベスチャード壁孔は Photo 111 に示されている。細かく枝分かれしているベスチャーが密集し, 内孔口と壁孔室を閉塞している。同様なベスチャード壁孔が Western Samoa に生育する *Anthocephalus chinensis* にも観察, 報告されている (Donaldson 1984)。

d) Dタイプをもつ樹種のベスチャード壁孔の形態

Dタイプのベスチャード壁孔をもつ樹種は7種である。このタイプは, 壁孔室ではベスチャーが発達しているが, 内側からみると内孔口周縁にはベスチャーが発生していない。Photo 113, 115 にはシクンソ科 (Combretaceae) の *Terminalia belericoides*, Photo 114 には *Terminalia myriocarpa* のベスチャード壁孔を示す。じゅず状のベスチャーが壁孔室全体を満たしているが, 内孔口周縁ではベスチャーの発生が認められない。*T. belericoides* では壁孔室がベスチャーで満たされ, また多くの壁孔でベスチャー壁孔壁近くまで達している (Photo 114) が, *T. myriocarpa* では壁孔壁近く縁まで達しているベスチャーは少なかった。この点は上記2樹種の樹種特徴であるといえるかも知れない。Photo 117 は道管の外側から見たミソハギ科 (Lythraceae) の *Lagerstroemia tomentosa* の VV 壁孔であるが, 小さいじゅず状のベスチャーが壁孔壁に達するように壁孔室を満たしている。しかし, 道管の内側からみると VV 壁孔にベスチャーが認められない (Photo 116)。この樹種の VV 壁孔のベスチャーの形態は, 日本に生育している同属のサルスベリ (*Lagerstroemia indica*) (Ohtani・Ishida 1976b) と類似している。オジギソウ科 (Mimosaceae) の *Acrocarpus fraxinifolius* のベスチャード壁孔は Photo 118 に示されている, 内孔口周縁にはベスチャーが発生していない。ハマザクロ科 (Sonneratiaceae) の *Duabanga moluccina* の壁孔室にベスチャーが発生している事実はすで

に Bailey (1933) によって報告されている。筆者が観察した同属の *Duabunga grandiflora* のベスチャード壁孔は Photo 119, 120, 121 に示されている。内孔口の周縁や壁孔道にはベスチャーが発生していない (Photo 119, 121) が、よく分岐したベスチャーが壁孔室を満たしている (Photo 120)。このことはベスチャード壁孔の断面を示している Photo 121 から明瞭にわかる。Photo 122 には *Dalbergia szemaoensis* のベスチャード壁孔を示した。

e) E タイプをもつ樹種のベスチャード壁孔の形態

このタイプに分類された樹種はマメ科 (Papilionaceae) の *Dalbergia polyadelpa* 1 種のみであった。Photo 123 に示されているように、道管の内側からみると内孔口周縁にはベスチャーが発生していない。外孔口ではベスチャーがその中心にむかって伸びているが、外孔口を閉塞していない。Photo 124 には道管の外側から観察した状態を示す。枝分かれしたベスチャー、枝分かれないベスチャーが壁孔室壁の全域からではなく、外孔口の周縁だけに発生している。すでに Photo 99 に示したように、この樹種ではベスチャーが内孔口周縁に散在していることから A タイプにも入れた。

Table 13. Types of vesturing in the intervacular pits of the species examined

Types	Species	Family
A	<i>Cassia siamea</i>	(Caesalpiniaceae)
	<i>Dalbergia polyadelpa</i>	(Papilionaceae)
	<i>Erythrina lithosperma</i>	(Papilionaceae)
B	<i>Albizia lucidior</i>	(Mimosaceae)
	<i>Erythrina arborescens</i>	(Papilionaceae)
	<i>Erythrina lithosperma</i>	(Papilionaceae)
	<i>Gardenia jasminoides</i>	(Rubiaceae)
C	<i>Alstonia scholaris</i>	(Apocynaceae)
	<i>Cleistanthus saichikii</i>	(Euphorbiaceae)
	<i>Syzygium szemaoense</i>	(Myrtaceae)
	<i>Anthocephalus chinensis</i>	(Rubiaceae)
D	<i>Terminalia belericoides</i>	(Combretaceae)
	<i>Terminalia myriocarpa</i>	(Combretaceae)
	<i>Lagerstroemia tomentosa</i>	(Lythraceae)
	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	(Mimosaceae)
	<i>Dalbergia szemaoensis</i>	(Papilionaceae)
	<i>Erythrina arborescens</i>	(Papilionaceae)
	<i>Duabanga grandiflora</i>	(Sonneratiaceae)
E	<i>Dalbergia polyadelpa</i>	(Papilionaceae)

供試樹種の VV 壁孔のベスチャード壁孔の観察結果を Table 13 にまとめた。

2) VR 壁孔のベスチャーの形態

16樹種のうち11樹種ではすべてのVR壁孔がベスチャード壁孔であるが、シクンシ科 (Combretaceae) の *Terminalia belericoides*, *Terminalia myriocarpa*, ミソハギ科 (Lythraceae) の *Lagerstroemia tomentosa*, フトモモ科 (Myrtaceae) の *Syzygium szemaense*, ハマザクロ科 (Sonneratiaceae) の *Duaganga grandiflora* の5種ではVR壁孔がベスチャード壁孔であるものとなないもの両方が認められた (Table 12)。

a) すべての壁孔がベスチャード壁孔である樹種

すべてのVR壁孔がベスチャード壁孔である11種では、VV壁孔とVR壁孔の形態がほぼ同じであり、それらのベスチャード壁孔の形態もほぼ類似している。その例として、Photo 125には *Cassia siamea*, Photo 126には *Dalbergia polyadelpa*, Photo 127には *Cleistanthus saichikii* を示した。

b) 一部の壁孔がベスチャード壁孔である樹種

Terminalia などの5種では、VR壁孔の形態はVV壁孔と異なり、その内孔口は円ないし楕円形を呈し、配列も不規則な集合になっている。それらのVRのうち大きな壁孔にはベスチャーが発生せず、小さな壁孔がベスチャード壁孔であるという傾向が強い (Wu 1988)。Photo 128には *Terminalia belericoides* のVR壁孔を示す。大きい楕円形の壁孔にはベスチャーが認められないが、近傍の小さな円形の壁孔にはベスチャーがよく発達し、内孔口を閉塞している。Photo 129, 130に *Syzygium szemaense* のVR壁孔を道管の内側、外側からみた状態を示す。大径で楕円形の壁孔にはベスチャーが認められなかったが、小径の壁孔には枝分かれしたベスチャーが発達している。Photo 131には *Lagerstromia tomentosa* のVR壁孔を示す。小さい壁孔にベスチャーが発達している。*Duabanga grandiflora* では、例外的に大きな壁孔にも部分的にはあるが、ベスチャーが発達している (Photo 132, 133)。そのほか、Photo 133の矢印に示されたように、壁孔壁にもベスチャーが観察された。

3) VP壁孔のベスチャーの形態

VP壁孔では、ベスチャーの発生、程度、形態ともにVP壁孔と同様である。例として、Photo 134に *Cassia siamea*, Photo 135に *Dalbergia polyadelpa* のVP壁孔を示す。それらの形態はPhoto 126に示されている *Dalbergia polyadelpa* のVR壁孔、Photo 125に示されている *Cassia siamea* のVRと全く同様である。

3.2.6 要 約

1) 道管壁孔の形態と配列

VV壁孔では、交互壁孔、階段壁孔、対列壁孔及び階段移行型の壁孔が観察された。階段状VV壁孔をもつ樹種6種、対列VV壁孔をもつ樹種2種、交互VV壁孔をもつ樹種62種のうちに結合孔口をもつ樹種は15種であった。

VR壁孔では、VV壁孔と同じものと全く違うもの2種類に分けられた。さらに、VV壁孔の形態と同じものを除いて、柵状、階段状、水平状集合、不規則な集合に分類された。この

分類方法をもとにして供試樹種を次の結果にまとめた。即ち、柵状 VR 壁孔をもつ樹種は 3 種、柵状移行型 VR 壁孔をもつ樹種は 4 種、階段状 VR 壁孔をもつ樹種は 6 種、階段移行型 VR 壁孔をもつ樹種は 3 種、水平状集合配列をしている VR 壁孔をもつ樹種は 21 種、不規則集合の配列をしている VR 壁孔をもつ樹種は 10 種である。

2) ベスチャード壁孔

ベスチャード壁孔の存在. 観察を行った 71 樹種中ベスチャード壁孔が認められた樹種は 16 種である。その内、VV 壁孔はすべてベスチャード壁孔であるが、VR、VP 壁孔では一部がベスチャード壁孔ではなかった。ベスチャード壁孔が存在する 16 樹種のうち、11 樹種の VR、VP 壁孔はすべてベスチャード壁孔であったが、5 樹種では VR、VP 壁孔の一部のみがベスチャード壁孔であった (Table 12)。前者の 11 樹種の VR、VP 壁孔の配列、形態は VV 壁孔とはほぼ同じであったが、後者の 5 種の VR、VP 壁孔の配列、形態は VV 壁孔と全く違うことが認められた。これらの 5 樹種のベスチャーの発達程度には、VR、VP 壁孔の形態、即ち、壁孔口の大きさ及び壁孔縁の有縁の程度と密接な関係が認められた。一般に、壁孔縁の有縁の程度が顕著且つ孔口が小さい壁孔にはベスチャーがよく発生しているが、壁孔縁の有縁の程度がわずか且つ孔口が大きい壁孔にはベスチャーが存在しない。

ベスチャード壁孔の分類. ベスチャーの形態が複雑であったこと、また形態と発生程度の間に無視できない密接な関係が認められたことから、ベスチャーの形を考慮せず、ベスチャーの発生程度、部位により VV 壁孔のベスチャード壁孔を 5 タイプに分類した (Fig. 4)。A タイプは 3 種、B タイプは 4 種、C タイプは 4 種、D タイプは 7 種、E タイプは 1 種であった。

ベスチャーの形態. *Alstonia scholaris* には細長く伸びているベスチャーが観察された (Photo 104, 105)。このような形態のベスチャーは過去に報告されていなかった。また、*Syzygium szemaense* では、VR 壁孔の壁孔壁から発生していると考えられるベスチャーが認められた (Photo 133)。

3.3 らせん肥厚

3.3.1 概 説

国際木材解剖用語集によるとらせん肥厚は“細胞壁の二次壁内面上の全面あるいは一部に存在するらせん状の隆起”と定義されている。

広葉樹材道管のらせん肥厚の存在は樹種識別の重要な指標として、古くから木材学者に注目された。多くの学者が光顕を用いて、らせん肥厚の存在と形態について研究した。中国では成 (1980) が 90 科、281 属、470 種の中国熱帯及び亜熱帯樹の組織構造を研究し、らせん肥厚の有無を調べた。更に、成ら (1985) は彼らの著書“木材学”のなかで 521 樹種のらせん肥厚の有無を記載している。雲南材については、唐 (1973) が約 68 科、161 属、200 種の雲南産熱帯、亜熱帯樹種を研究し、らせん肥厚の有無や種間の変動などについて述べた。

SEMによるらせん肥厚についての研究も少なくない。Parham・Kaustinen (1973) は19樹種のらせん肥厚の形態を観察した。Meylan・Butterfield (1978a) はニュージーランド産の178種の道管要素におけるらせん肥厚の有無及びそれらの微細形態を調べ、90種にらせん肥厚が存在することを報告した。Ohtani・Ishida (1978b) は日本産の51科、120属、218種の道管を観察し、135種にらせん肥厚が存在することを認めた。最近、Baas・Zhang (1986) は中国産のモクセイ科 (Oleaceae) についての報告の中でらせん肥厚の形態について述べている。

Parham・Kaustinen (1973) は道管壁のらせん肥厚の隆起部の形態を観察して、らせん肥厚を分岐しているもの、分岐していないもの、うずまき状のもの3つのタイプに分類し、加えて樹種的特徴を示した。Ohtani (1983) は、36科、77属、141種の日本産材のらせん肥厚を研究し、一道管要素内でのらせん肥厚のらせん方向をもとにして、1) Sらせんのもの、2) Zらせんのもの、3) らせん方向が一定しないもの、4) らせん状を示さないものの4つのタイプに分類し、さらに枝分かれするもの、枝分かれしないものに分けた。Meylan・Butterfield (1978a) はニュージーランド産材のらせん肥厚について、1) 微細なすじ状のもの、2) 隆起が不明瞭でときには道管壁に消失しているもの、3) 顕著なもの、4) 密集した顕著なもの4つのタイプに分類した。

Metcalf・Chalk (1983) は3,000樹種以上について、106科の道管要素にらせん肥厚が存在し、そのうち環孔材では44%、散孔材では65%に存在していることを記載している。また、熱帯材と比べると、亜熱帯、温帯材の方がらせん肥厚の発生が多い。すべての道管に非常に顕著ならせん肥厚が存在する木材は、一部の道管に微細なすじ状のらせん肥厚が存在する木材より多い。

3.3.2 らせん肥厚の分類

らせん肥厚の形態についての報告は少なくない。しかし、その多くは光顕観察に基づく報告であり、存否についてしか述べられていない。一方、SEMにより微細形態についての知見も得られている。前述のように、分岐するものと分岐しないもの (Parham・Kaustinen 1973),

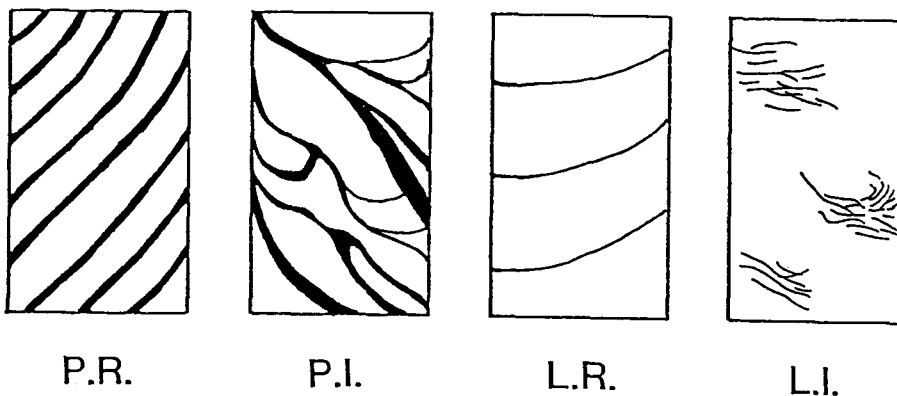


Fig. 5. Diagrammatic representation illustrating the different types of spiral thickenings.

Sらせん, Zらせん, SとZらせん, らせん状を示さないものようならせん方向による分類 (Ohtani・Ishida 1978a), 隆起部の顕著と顕著でないものようならせん肥厚の発達程度による分類 (Meylan・Butterfield 1978a) の3種類の分類方法がなされた。彼らの研究は非常に重要なもので, 光顕による観察と比較すると非常に微細な分類が可能になった。しかし, らせん肥厚の多様な微細形態にもとづく簡便な分類法が必要である。

筆者は71樹種のみを観察であるが, 観察事実から次のように分類した。らせん肥厚の存在状態から, すべての道管要素にあるもの, 一部の道管要素のみにあるものの2つの類に大別し, 更に隆起部の太さ, 高さ, 間隔及び消失の頻度をもとにして, 顕著なもの, 軽微なものの2つのタイプに分け, さらに隆起部の太さと間隔の均一性及びらせん方向の一致性によって, 規則的なものと不規則なものに分けた (Fig. 5)。

Table 14. Grouping of species with reference to the occurrence of spiral thickenings

Group No.	Number of species (genera, families)	Occurrence of spiral thickenings	
		Vessel member with spiral thickenings	Vessel member without spiral thickenings
1	12 (11, 8)	○	—
2	9 (7, 6)	○	○
3	50 (41, 30)	—	○

○ : Present

— : Absent

39科, 59属, 71樹種の道管におけるらせん肥厚の観察結果を Table 14 に示した。すべての道管要素にらせん肥厚が存在するのは12種 (8科11属), 一部の道管要素にらせん肥厚が存在するのは9種 (6科7属), 道管要素にらせん肥厚が観察されないもの (道管の尾部だけに存在するらせん肥厚を含んでいる) は50種 (30科41属) である。

3.3.3 らせん肥厚の形態

1) すべての道管要素にらせん肥厚が存在する樹種

すべての道管要素にらせん肥厚が存在する樹種は12種である (Table 15)。

Photo 136 にはシナノキ科 (Tiliaceae) の *Tilia chinensis*, Photo 137 には *T. paucicostata* のらせん肥厚を示す。隆起部の太さがほぼ均一で, 等間隔, 規則的にらせん肥厚が配列している。分岐することは少ない。しかし, まれに隆起部が分岐したもの (Photo 138) や, 徐々に壁に消失するもの (Photo 139) も観察された。この2種の *Tilia* のらせん肥厚は日本のシナノキ (*Tilia japonica*) のものとほぼ同じである (Ohtani・Ishida 1978b)。ニシキギ科 (Ceras-traceae) の *Euonymus yunnanensis* は道管壁の全面にらせん肥厚が観察された (Photo 140)。細い隆起部が道管軸に対してほぼ垂直に存在する。等間隔, 太さが均一, 軽微, 規則的ならせん肥厚である。

バラ科 (Rosaceae) の *Cerasus clarifolia* にも, 太さと高さがほぼ均一で, 間隔もほぼ等

しい、道管軸とほぼ垂直ならせん肥厚が認められた (Photo 141)。しかし、一部の道管要素には、方向が一定せず、道管壁に消失した不規則ならせん肥厚も観察された。同じバラ科 (Rosaceae) の *Sorbus thibetica* のらせん肥厚は日本のウラジロノキ (*Sorbus japonica*)、アズキナシ (*S. alnifolia*) と類似した特徴をもつらせん肥厚である (Ohtani・Ishida 1978b)。Photo 142 に示すように、大部分のらせん肥厚の隆起部が数本集合して、主に Z 方向にまわっている。Photo 143 はそれらを拡大した像である。太さと高さの不均一な隆起部が不規則に分岐している。分岐しているらせん肥厚が道管軸方向とほぼ垂直に存在し、ある道管要素内では S 方向に変化している (Photo 144)。このようならせん肥厚の走向などは壁孔の分布と関係があると考えられる。Photo 145 に示したように、壁孔の少ない箇所では、らせん肥厚が壁孔口の長軸方向に沿ってまわっている。しかし、VR 壁孔の密集している箇所では、らせん肥厚が壁孔近傍に消失し、中断しているようにみえる。雲南では *Sorbus thibetica* が海拔 3,400 m の亜寒帯に相当する環境下に生育しており、そのらせん肥厚の形態は本州に生育しているウラジロノキ (*Sorbus japonica*) と類似している。このような特徴的ならせん肥厚の存在は *Sorbus* 属の特徴と言えるかもしれないが、更に多くの樹種について調べる必要がある。

カエデ科 (Aceraceae) の *Acer forrestii* に存在しているらせん肥厚は、Ohtani・Ishida (1978b)、Parham・Kaustinen (1973) に報告されている *A. japonicum* (ハウチワカエデ)、*A. mono* (イタヤカエデ)、*A. saccharum* (hard maple) などのカエデ属のものと同様にして S らせんが多いが (Photo 146)、S と Z 方向、うずまき状のものも存在する。隆起部の太さが不均一で、しばしば道管壁に消失しており、軽微で不規則なタイプのらせん肥厚に分類される。*Acer forrestii* のらせん肥厚は VR 壁孔の密集した箇所では変化に富み、消失、方向の変化が起こっている (Photo 147, 148)。ムクロジ科 (Sapindaceae) の *Pometia tomentosa* のらせん肥厚の形態は変化に富んでいる。隆起部が顕著で密につんでいるもの (Photo 149)、軽微ですじ状のもの (Photo 150)、S 方向のもの (Photo 151)、道管軸にほぼ垂直なもの、(Photo 152)、うずまき状のものなど様々なタイプのらせん肥厚が認められた。短い道管要素ではそれらの形態が顕著で不規則になる傾向が認められた。このようならせん肥厚は *Pometia pinnata* (佐伯 1982) にも認められている。*Erythrina arborescens* の道管壁には壁孔が密集していた。その壁孔間には方向が不定、すじ状のらせん肥厚が存在していた。マメ科 (Papilionaceae) にはらせん肥厚が存在しないという光顕観察に基づく報告 (Metcalf・Chalk 1983) があるが、おそらく光顕ではその細いすじ状のものを識別することができなかったのであろう。Photo 153 は *Erythria arborescens* のらせん肥厚の例である。

ツツジ科 (Ericaceae) の *Rhododendron rubiginosum*、クスノキ科 (Lauraceae) の *Litsea glutinosa*、バラ科 (Rosaceae) の *Malus rockii* とムクロジ科 (Sapindaceae) の *Arytera littoralis* の 4 種ではすべての道管要素にらせん肥厚が存在しているが、一道管要素内の道管壁の極く限られた箇所にのみらせん肥厚が存在している。*Rhododendron rubiginosum* では隆起部が

帯のような広い形で道管軸とはほぼ垂直になっている。不規則で、やや顕著なもの (Photo 154), 軽微なもの (Photo 155), 薄くて不明瞭なもの (Photo 156) など様々な形態のものが認められる。*Litsea glutinosa* のらせん肥厚にも同様な特徴が認められる (Photo 157)。*Malus rockii* のらせん肥厚には壁孔と密接な関係が認められた。Photo 158, 159 にその一例を示す。壁孔口をはさんで上下に位置し、対をなすように配列している。このようならせん肥厚は実はらせん状にはなっていない肥厚である。Ohtani (1983) はらせん状に配列しない肥厚を、壁孔と関連して存在するもの、関連せず存在するものに大別している。この様ならせん肥厚が、日本産のウツギ (*Deutzia crenata*) など 11 樹種に存在すると報告した。以上の 4 種のらせん肥厚の形態によると、一道管要素の壁の限られた所に存在するらせん肥厚は分布が不規則である。分布が不規則になると、らせん肥厚の形態も不規則になるという傾向が明らかになった。

以上、すべての道管にらせん肥厚が存在する 12 樹種について、その形態から分類してきた。この結果をまとめると Table 15 のようになる。

Table 15. Types of spiral thickenings in the species with them in all vessel members

Family	Species	P		L	
		R	I	R	I
Tiliaceae	<i>Tilia chinensis</i>	○			
	<i>Tilia paucicostata</i>	○			
Rosaceae	<i>Sorbus thibetica</i>		○		
Ericaceae	<i>Rhododendron rubiginosum</i>		○		○
Lauraceae	<i>Litsea glutinosa</i>		○		○
	<i>Pometia tomentosa</i>		○		○
Cerastraceae	<i>Euonymus yunnanensis</i>			○	
Aceraceae	<i>Acer forrestii</i>			○	○
	<i>Cerasus clarifolia</i>			○	○
Papilionaceae	<i>Erythrina arborescens</i>				○
	<i>Malus rockii</i>				○
Sapindaceae	<i>Arytera littoralis</i>				○

P : Prominent spiral thickenings

L : Light spiral thickenings

R : Regular spiral thickenings

I : Irregular spiral thickenings

2) 一部の道管要素にらせん肥厚が存在する樹種

一部の道管要素にらせん肥厚が存在するものは 9 種である。このうち 5 種は一道管要素の道管壁の限られた箇所にならせん肥厚が存在するタイプ、残りの 4 種は道管壁の全面に存在するタイプである (Table 16)。

ノウゼンカズラ科 (Bignoniaceae) の *Catalpa duclouxii* とセンダン科 (Meliaceae) の *Melia toosenden*, *M. azebarach* の 3 種は環孔材である。過去の環孔材に関する報告による

Table 16. Types of spiral thickenings in the species with them in some vessel members

Family	Species	P		L	
		R	I	R	I
Bignoniaceae	<i>Catalpa duclouxii</i>	○			○
Meliaceae	<i>Melia toosenden</i>	○			○
	<i>Melia azebarach</i>	○			○
Anacardiaceae	<i>Pistacia weinmannifolia</i>		○		○
Euphorbiaceae	<i>Baccaurea ramiflora</i>				○
	<i>Mallotus philippinensis</i>				○
Magnoliaceae	<i>Magnolia heptapeta</i>				○
	<i>Michelia alba</i>				○
	<i>Paramichelia baillonii</i>				○

P : Prominent spiral thickenings

L : Light spiral thickenings

R : Regular spiral thickenings

I : Irregular spiral thickenings

と、晩材道管にはらせん肥厚が存在するが、早材道管にはらせん肥厚が存在しない。しかし、今回の観察では晩材に近いところにある道管要素、あるいは早材に近い晩材の大道管、すなわち、早晩材の移行部にある道管要素に軽微ならせん肥厚が認められた。このようならせん肥厚には道管の全面に存在するもの、限られた一部に存在するものの2つのタイプが認められた(呉ら 1988)。*Melia toosenden*には早材の大道管にはらせん肥厚が全く認められなかった(Photo 160)が、晩材に近い大道管にすじ状の軽微ならせん肥厚が認められた(Photo 161)。このような軽微ならせん肥厚にはS、Zの2つのタイプがある。晩材の小道管に存在するらせん肥厚は隆起部が高く太い顕著ならせん肥厚になっている(Photo 162)。同属の*M. azebarach*のらせん肥厚の形態は*M. toosenden*と類似している。Photo 163は移行部の大道管に存在する軽微ならせん肥厚、Photo 164は晩材小道管に存在する顕著ならせん肥厚である。*Catalpa*の早材の大道管にはらせん肥厚が認められない。Photo 165, 166は晩材の小道管に存在するらせん肥厚である。Parham・Kaustinen (1973)による*Catalpa speciosa*のらせん肥厚の観察結果と同様に、らせん肥厚が晩材のまさに最外部にのみに認められた。

ウルシ科 (Anacardiaceae) の *Pistacia weinmannifolia* は散孔材である。大きい道管要素に軽微ならせん肥厚が存在するもの (Photo 167)、存在しないもの (Photo 168) の2種類があったが、小道管に顕著ならせん肥厚 (Photo 169, 170) が認められた。

トウダイグサ科 (Euphorbiaceae) の *Baccaurea ramiflora* には道管壁のごく一部に限られた箇所ならせん肥厚が観察された。Photo 171に示されたように、このらせん肥厚は隆起部は細く、壁孔をはさんで対になって存在している。しかし、壁孔と関係がなく散在する細いらせん肥厚も認められた (Photo 172)。同科の *Mellotus philippinensis* にはらせん肥厚が一部の道管要素の壁の極く限られた所に存在する。それらの隆起部は細くてしばしば壁に消失している

(Photo 173, 174)。モクレン科 (Magnoliaceae) の 3 種 *Magnolia heptapeta*, *Michelia alba*, *Paramichelia bailonii* に存在するらせん肥厚の形態は、日本のホオノキ (*Magnolia obovata*) やタムシバ (*M. salicifolia*), キタコブシ (*M. borealis*) などのそれと類似している。このようならせん肥厚は S3 層の一部が薄層化したものである (平川・石田 1984)。Photo 175 には *Magnolia heptapeta* のらせん肥厚を, Photo 176 には *Michelia alba* のらせん肥厚を, Photo 177 には *Paramichelia bailonii* のらせん肥厚を示す。これらのらせん肥厚は一部の道管要素に不規則に散在し, あまり発達していない。

一部の道管要素に存在するらせん肥厚の形態を Table 16 にまとめた。

3.3.4 らせん肥厚のらせん方向

らせん肥厚の方向は道管二次壁の最内層のマイクロフィブリル配向と密接な関係がある。らせん肥厚の S または Z と称する方向は二次壁最内層のマイクロフィブリル配向とほぼ一致する (平川・石田 1984)。従って, らせん肥厚の方向を観察することは重要である。雲南材 21 種

Table 17. Helical direction of spiral thickenings.

Species	S	Z	H	Sw	O
<i>Catalpa duclouxii</i>	○				
<i>Mallotus philippinensis</i>	○				
<i>Michelia alba</i>	○				
<i>Paramichelia bailonii</i>	○				
<i>Tilia chinensis</i>	○				
<i>Tilia paucicostata</i>	○				
<i>Pistacia weinmannifolia</i>	○	○			
<i>Magnolia heptapeta</i>	○	○			
<i>Melia azedarach</i>	○	○			
<i>Melia toosenden</i>	○	○			
<i>Sorbus thibetica</i>	○	○			
<i>Arytera littoralis</i>	○	○		○	
<i>Pometia tomentosa</i>	○	○		○	
<i>Acer forrestii</i>	○			○	
<i>Litsea glutinosa</i>	○			○	
<i>Euonymus yunnanensis</i>			○		
<i>Cerasus clarifolia</i>			○		
<i>Baccaurea ramiflora</i>					○
<i>Malus rockii</i>					○
<i>Rhododendron rubiginosum</i>					○
<i>Erythrina arborescens</i>					○

- S : "S" spiral thickenings.
 Z : "Z" spiral thickenings.
 H : Almost horizontal thickenings.
 Sw : Swirled thickenings.
 O : Other.

のらせん肥厚のらせん方向は Table 17 に示されている。一道管要素内のらせん肥厚の方向を、Sらせん、Zらせん、ほぼ垂直、うずまき状、その他の5つのタイプに分類した。すべての道管要素にSらせんしかもないもの6種、S、Zらせん両方をもつもの5種、Sらせんとうずまき状をもつもの1種、S、Zらせん及びうずまき状をもつもの2種、S、垂直状、うずまき状らせんをもつもの1種、ほぼ垂直ならせん肥厚のみをもつもの3種、その他4種であった。

3.3.5 らせん肥厚が存在しない樹種

らせん肥厚が観察されなかった樹種は30科、41属、50種である。これらの樹種を Table 18 に示す。なお、ツバキ科 (Theaceae) の *Schima* の2種では道管要素の尾部のみならせん肥厚が存在した。

Table 18. Species without spiral thickenings

Family	Species
Apocynaceae	<i>Alstonia scholaris</i> (LINN.) R. BR.
Betulaceae	<i>Alnus nepalensis</i> D. DON <i>Betula albo-sinensis</i> BURKILL <i>Betula alnoides</i> BUCH.-HAM.
Bignoniaceae	<i>Stereospermum tetragonum</i> (WALL.) DC.
Bombacaceae	<i>Bombax ceiba</i> LINN.
Burseraceae	<i>Garuga pinnata</i> ROXB.
Caesalpiniaceae	<i>Cassia siamea</i> LAMARCK.
Combretaceae	<i>Terminalia belericoides</i> <i>Terminalia myriocarpa</i> HUERCK. et M.-A.
Euphorbiaceae	<i>Sapium sebiferum</i> (LINN.) ROXB. <i>Macaranga denticulata</i> (BL.) MUELL.-ARG. <i>Cleistanthus saichikii</i>
Fagaceae	<i>Quercus aquifolioides</i> REHD. et WILS. in SARG. <i>Quercus yunnanensis</i> FRANCH. <i>Quercus acutissima</i> CARR.
Flacourtiaceae	<i>Gynocardia odorata</i> R. BR. in ROXB.
Guttiferae	<i>Calophyllum polyanthum</i> WALL. ex CHOISY
Lauraceae	<i>Cinnamomum camphora</i> (LINN.) PRESL.
Lythraceae	<i>Lagerstroemia tomentosa</i> FRESL.
Magnoliaceae	<i>Talauma gitingensis</i> ELM.
Meliaceae	<i>Chukrasia tabularis</i> A. JUSS. var. <i>velutina</i> (WALL.) KING <i>Toona ciliata</i> ROEM. <i>Toona ciliata</i> var. <i>yunnanensis</i> (C. DC.) C. Y. WU
Mimosaceae	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i> ARN. ex WIGHT <i>Albizia lucidior</i> (STEUDEL) I. NIELSEN
Myrtaceae	<i>Syzygium szemaoense</i> MERR. et PERRY
Nyssaceae	<i>Comptothea acuminata</i> DECNE
Oleaceae	<i>Fraxinus floribunda</i> WALL. in ROXB.
Papilionaceae	<i>Dalbergia szemaoensis</i> PRAIN.

Family	Species
	<i>Dalbergia polyadelpha</i> PRAIN.
	<i>Erythrina lithosperma</i> BI. ex MIQ.
Rubiaceae	<i>Anthocephalus chinensis</i> (LAM.) RICH. ex WALP.
	<i>Gardenia jasminoides</i> (LINN.) ELLIS
Salicaceae	<i>Populus yunnanensis</i> DODE
	<i>Populus haoana</i> CHENG. et C. WANG
	<i>Salix balfouriana</i> SCHNEID. in SARG.
Sabiaceae	<i>Meliosma cuneifolia</i> FRANCH.
Saurauiaceae	<i>Saurauia tristyla</i> DC.
Sapotaceae	<i>Pouteria grandifolia</i> (WALL.) PIERRE
Sonneratiaceae	<i>Duabanga grandiflora</i> (ROXB.) et DC. WALP.
Sterculiaceae	<i>Pterospermum lauceaefolium</i> ROXB.
Theaceae	<i>Schima argentea</i> PRITZ.
	<i>Schima wallichii</i> (DC.) KORTH.
Ulmaceae	<i>Aphananthe cuspidata</i> (BLUME) PLANCH. in DC.
	<i>Trema orientalis</i> (L.) BLUME
Verbenaceae	<i>Gmerina arborea</i> ROXB.
	<i>Vitex quinata</i> (LOUR.) WILL.
	<i>Callicarpa arborea</i> ROXB.
	<i>Callicarpa poilanei</i> P. DOP.

3.3.6 要 約

1) **らせん肥厚の存在.** 21 樹種の道管要素にらせん肥厚が認められた。それらのらせん肥厚の存在状態から、らせん肥厚がすべての道管要素に存在するもの(8科11属12樹種)とらせん肥厚が一部の道管要素に存在するもの(6科7属9樹種)に分けられた。観察を行った熱帯、亜熱帯材 39 種中 7 種(18%)にらせん肥厚が認められた。温帯材では 32 種中 14 種(44%)であった。温帯材の方が道管要素にらせん肥厚の存在する樹種の割合が多い。らせん肥厚が存在しないものは 30 科 41 属 50 樹種である。

2) **らせん肥厚の分類.** らせん肥厚を隆起部の高さ、太さ、間隔及び消失頻度により、顕著なものと軽微なものにわけ、更にその高さ、太さ、間隔の均一性とらせん方向の一致性より規則的なものと不規則なものに分類した。その結果をまとめると次のようになる。

(a) すべての道管要素にらせん肥厚が存在するもの

顕著で規則的なもの…1科1属2種、顕著で不規則なもの…1科1属1種、顕著なものと軽微なものが混在し不規則なもの…3科3属3種、軽微で規則的なものと不規則なものが混在するもの…2科2属2種、軽微で規則的なもの…1科1属1種、軽微で不規則なもの…3科3属3種。

(b) 一部の道管要素にらせん肥厚が存在するもの

顕著で規則的なものと軽微で不規則なもの…2科2属3種、顕著、軽微なものが存在し、

いずれも不規則なもの…1科1属1種, 軽微で不規則なもの…2科5属5種

3) **らせん肥厚の形態変動.** らせん肥厚の形態の変動が一年輪内の道管の位置と関係があることは環孔材, あるいは径の変動が大きい散孔材に認められた。一般に, 早材の大道管にはらせん肥厚は認められない。早晚材移行部の道管には軽微で不規則ならせん肥厚が, 晩材の小道管には顕著ならせん肥厚が認められた。らせん肥厚の形態の変動は壁孔の存在と配列に関係があるものと関係がないものの両方が認められた。壁孔の配列, とくにVR壁孔が密集しているところでらせん肥厚のらせん方向が変わったり, 道管壁に消失したりする樹種が観察された。らせん状をなしていない肥厚は壁孔の上下で対になっていることが認められた。らせん肥厚の形態はらせん肥厚の発達程度と関係がある。

4) **らせん肥厚の方向.** S, Z方向, うずまき状, ほぼ垂直, その他に分類される。らせん肥厚の存在が認められた21樹種は次のように分けられた。

Sらせんをもつもの…6種, S, Z両らせんをもつもの…5種, Sらせんとうずまき状らせんをもつもの…2種, S, Z両らせん及びうずまき状らせんをもつもの…2種, ほぼ垂直ならせんをもつもの…3種, その他4種。

4. 結 論

4.1 供試樹種の道管壁修飾構造の形態的特徴

本研究で用いた供試材は, 原則として正常に生育していた生立木の胸高辺材外方部から採集されたものである。しかし, 供試樹種の中には材鑑から得られた試料のみ用いた樹種もあるが, これらの場合でも辺材外方部について観察を行った。従って, 観察部位はすべて樹木の成熟材部であり, 得られた結果は材構造が最も安定している成熟材の道管壁の修飾構造の特徴をしめしていると考えてよい。

また, 各供試樹種について可能な限り複数の個体から採集された試料について観察を行ったが, 諸般の事情により樹種によっては1個体のみのものもある。しかし, 複数の個体から採集された試料では, 得られた観察結果に個体間の差異は殆ど認められなかった。従って, 本研究で得られた結果は供試材樹種の道管壁修飾構造の微細形態の樹種的特徴を示していると結論される。

Table 19 は本研究で調べた39科59属71樹種の道管壁修飾構造の形態的特徴を樹種別に

Table 19. Micromorphological characteristic features on vessel wall modifications in Yunnan hardwoods

Species	Pitting			Perforation Plate			Spiral thickening	
	VV	VR	Ves	S	Sca	M	All	Some
<i>Pistacia weinmannifolia</i>	3	4	—	○	—	—	—	Pl. LI
<i>Alstonia scholaris</i>	3	7	1. C	○	—	—	—	—
<i>Acer forrestii</i>	3	7	—	○	—	—	LR. LI	—

Species	Pitting			Perforation Plate			Spiral thickening	
	VV	VR	Ves	S	Sca	M	All	Some
<i>Alnus nepalensis</i>	3	7	—	—	○	—	—	—
<i>Betula albo-sinensis</i>	3. 4	7	—	—	○	—	—	—
<i>Betula alnoides</i>	3. 4	7	—	—	○	—	—	—
<i>Catalpa duclouxii</i>	3	5	—	○	—	—	—	PI. LI
<i>Stereospermum tetragonum</i>	3	7	—	○	—	○	—	—
<i>Bombax ceiba</i>	3	5	—	○	—	—	—	—
<i>Garuga pinnata</i>	3	4	—	○	—	—	—	—
<i>Cassia siamea</i>	3. 4	7	1. A	○	—	—	—	—
<i>Terminalia belericoides</i>	3	6	2. D	○	—	—	—	—
<i>Terminalia myriocarpa</i>	3	6	2. D	○	—	—	—	—
<i>Euonymus yunnanensis</i>	3. 4	4	—	○	—	—	LR	—
<i>Rhododendron rubiginosum</i>	3	5	—	—	○	○	LI	—
<i>Sapium sebiferum</i>	3. 4	5	—	○	—	—	—	—
<i>Macaranga denticulata</i>	3	6	—	○	—	—	—	—
<i>Baccaurea ramiflora</i>	3	6	—	○	○	○	—	LI
<i>Cleistanthus saichikii</i>	3	5	1. C	○	—	—	—	—
<i>Mallotus philippinensis</i>	3	5	—	○	—	—	—	LI
<i>Quercus aquifolioides</i>	3	1	—	○	—	—	—	—
<i>Quercus yunnanensis</i>	3	1	—	○	—	—	—	—
<i>Quercus acutissima</i>	3	1	—	○	—	—	—	—
<i>Gynocardia odorata</i>	3	5	—	○	—	○	—	—
<i>Calophyllum polyanthum</i>	3	1. 2. 6	—	○	—	—	—	—
<i>Litsea glutinosa</i>	3	5	—	○	—	—	LI	—
<i>Cinnamomum Camphora</i>	3	5	—	○	—	—	—	—
<i>Lagerstroemia tomentosa</i>	3	5	2. D	○	—	—	—	—
<i>Magnolia heptapeta</i>	1	3	—	○	○	—	—	LI
<i>Michelia alba</i>	1	3	—	—	○	—	—	LI
<i>Paramichelia baillonii</i>	1	3	—	—	○	—	—	LI
<i>Talauma gitingensis</i>	1	3	—	—	○	—	—	—
<i>Crukrasia taburaris</i> var. <i>velutina</i>	3. 4	7	—	○	—	—	—	—
<i>Melia toosenden</i>	3	5	—	○	—	—	—	PR. LI
<i>Melia azebarach</i>	3	5	—	○	—	—	—	PR. LI
<i>Toona ciliata</i>	3. 4	7	—	○	—	—	—	—
<i>Toona ciliata</i> var. <i>yunnanensis</i>	3. 4	7	—	○	—	—	—	—
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	3. 4	7	1. D	○	—	—	—	—
<i>Albizia lucidior</i>	3. 4	7	1. B. C	○	—	—	—	—
<i>Syzygium szemaoense</i>	3	6	2. C	○	—	—	—	—
<i>Comptothea acuminata</i>	3	7	—	—	○	○	—	—
<i>Fraxinus floribunda</i>	3	7	—	○	—	—	—	—
<i>Dalbergia szemaoensis</i>	3	7	1. D	○	—	—	—	—
<i>Dalbergia polyadelpha</i>	3	7	1. A. E.	○	—	—	—	—

Species	Pitting			Perforation Plate			Spiral thickening	
	VV	VR	Ves	S	Sca	M	All	Some
<i>Erythrina arborescens</i>	3. 4	7	1. B	○	—	—	LI	—
<i>Erythrina lithosperma</i>	3. 4	7	1. A. B.	○	—	—	—	—
<i>Sorbus thibetica</i>	3	7	—	○	—	○	PI	—
<i>Cerasus clarifolia</i>	3	7	—	○	—	—	LR. LI	—
<i>Malus rockii</i>	3	7	—	○	—	—	LI	—
<i>Anthocephalus chinensis</i>	3	7	1. C	○	—	—	—	—
<i>Gardenia jasminoides</i>	3	7	1. B	○	—	—	—	—
<i>Populus yunnanensis</i>	3	5	—	○	—	—	—	—
<i>Populus haoana</i>	3	5	—	○	—	—	—	—
<i>Salix balfouriana</i>	3	5	—	○	—	—	—	—
<i>Arytera littoralis</i>	3. 4	7	—	○	—	—	LI	—
<i>Pometia tomentosa</i>	3. 4	7	—	○	—	—	PI. LI	—
<i>Meliosma cuneifolia</i>	2	5	—	—	○	○	—	—
<i>Saurauia tristyla</i>	2	8	—	—	○	○	—	—
<i>Pouteria grandifolia</i>	3	6	—	○	—	—	—	—
<i>Duabanga grandiflora</i>	3	1. 2. 6	2. D	○	—	—	—	—
<i>Pterospermum lauceaefolium</i>	3	7	—	○	—	—	—	—
<i>Schima argentea</i>	1	3	—	—	○	○	—	—
<i>Schima wallichii</i>	1	3	—	—	○	○	—	—
<i>Tilia chinensis</i>	3	5	—	○	—	—	PR	—
<i>Tilia paucicostata</i>	3	5	—	○	—	—	PR	—
<i>Aphananthe cuspidata</i>	3. 4	1. 2. 6	—	○	—	—	—	—
<i>Trema orientalis</i>	3	1. 2. 6	—	○	—	—	—	—
<i>Gmelina arborea</i>	3	5	—	○	—	○	—	—
<i>Vitex quinata</i>	3	5	—	○	○	—	—	—
<i>Callicarpa arborea</i>	3	5	—	○	—	○	—	—
<i>Callicarpa poilanei</i>	3	7	—	○	—	○	—	—

* Pitting:

VV: intervascular pitting

(1: Scalariform pitting 2: Opposite pitting 3: Alternate pitting 4: Coalescent aperture)

VR: Ray-vessel pitting

(1: Elongated elliptic pits in a palisade-like arrangement. 2: Intermediate pitting between palisade-like and irregular arrangements. 3: Scalariform pitting 4: Intermediate pitting between scalariform and opposite. 5: Elliptic pits in a horizontal arrangement 6: Elongated elliptic pits in an irregular arrangement 7: Alternate pitting 8: Opposite pitting)

Ves: Vestured pitting

(1: All of pits are vesturing 2: Some of pits are vesturing A, B, C, D, E: Type of vesturing in intervascular pitting. See Fig. 4)

* Perforation plate:

S: Simple Sca: Scalariform M: Multiple

* Spiral thickening:

All: Spiral thickenings are present in all the vessel members

Some: Spiral thickenings are present in some vessel members

(P: Prominent S. T. L: Light S. T. R: Regular S. T. I: Irregular S. T.)

* —: Absent ○: Present

整理したものである。観察された修飾構造の微細形態の特徴を全くそこなうことなく簡潔に表示することは困難である。しかし、得られた結果を単純化し、いくつかのタイプに分け、道管壁修飾構造の形態的特徴を樹種別に整理した。

4.2 道管壁修飾構造の属の特徴

1) Table 19 によると、供試材の道管壁修飾構造には属内の共通の特徴が認められた。また、同一属内の樹種間の差異は SEM 写真に示されている形態から認められる場合もあった。

Betula の 2 樹種は、壁孔は交互状で、結合孔口である (Photo 78)。せん孔板は階段せん孔板である (Photo 11)。らせん肥厚は両方とも認められない。この 2 樹種は日本の *Betula* 数樹種のものとはほぼ同じである (Ohtani 1983)。

Terminalia の 2 樹種では、VV 壁孔は、交互状でベスチャーが発生し、VV 壁孔のベスチャー壁孔のタイプは D 型である (Photo 113, 114, 115)。VR 壁孔は不規則な集合で、一部がベスチャー壁孔である (Photo 128)。せん孔板は単せん孔板である。らせん肥厚は存在していない。2 樹種間の差別はベスチャー壁孔の微細形態から分けられる (Photo 114, 115)。

Quercus の 3 樹種では VR 壁孔が柵状配列をしている。(Photo 82, 83)。3 樹種とも単せん孔で、らせん肥厚が発生していない。*Quercus* のこのような特徴は日本のカシ類とはほぼ同じである (島地ら 1985)。

Melia の 2 樹種では、VV 壁孔は交互状で、VR 壁孔は水平状集合である。せん孔板は単せん孔で、もっとも目立つのは、ほぼ同じ形態をしているらせん肥厚である。2 樹種とも環孔材で、早材の大道管にはらせん肥厚が観察されていないが、晩材に顕著ならせん肥厚が認められた。そのほか、早晚材の移行部に時々軽微ならせん肥厚が観察された (Photo 160~164)。

Toona の 2 樹種では、VV 壁孔は交互状の結合孔口で、VR 壁孔は VV 壁孔の形態と似ている。せん孔板は単せん孔である。らせん肥厚は発生していない。

Dalbergia の 2 樹種では、壁孔の形態はほぼ同じであった。VV 壁孔は交互状に配列し、ベスチャー壁孔であった (Photo 99, 122, 123, 124)。ベスチャーは、内孔口周縁には発生していなかったが、壁孔室には発生していた。また、*D. szemaensis* では外孔口が閉鎖されていたが、*D. polyadelpa* では E 型で外孔口が閉鎖されていなかった。したがって、両樹種間でベスチャーの発達程度が異なっていたが、さらに検討を要する。

Erythrina の 2 樹種では、壁孔の形態はほぼ同じである。VV・VR・VP 壁孔はベスチャー壁孔である。樹種別の特徴として、*E. arborescens* は B 型のベスチャー壁孔をもつのにに対し、*E. lithosperma* は A と B 型のベスチャー壁孔をもつ (Photo 97, 98, 100)。

Populus の 2 樹種には、VV 壁孔は交互状で、VR 壁孔水平状集合である (Photo 90)。せん孔は単せん孔である。らせん肥厚は両樹種ともに観察されない。

Schima の 2 樹種には、階段壁孔 (Photo 74, 80, 81) 階段せん孔と多孔せん孔が観察された

(Photo 61~65)。らせん肥厚は存在しない。*S. wallichii* では、多孔せん孔の形態がかなり変化にとんでいる。2樹種の共通点もあったが、樹種間の差異もあった。

Tilia の2樹種では、VV 壁孔、VR 壁孔ともに同じ形態をしている。せん孔も単せん孔でたる。2樹種の顕著な特徴はらせん肥厚である。2樹種ともに顕著で規則的ならせん肥厚が観察された (Photo 136, 137)。今回観察された *Tilia* のこれらの特徴は日本のシナノキ (*T. japonica*) とほぼ同じである。

Callicarpa の2樹種では、単せん孔のほか、一つのせん孔板に2、3個の大きな開孔がある多孔せん孔をもち、せん孔板の形態は殆ど同じであった (Photo 40, 41, 42) が、VR 壁孔の形態に差異が観察された (Table 19)。

以上、観察した範囲内で、10属について属内の共通の特徴および同一属内で樹種間の差異が認められる項目について記した。とくに後者については、今後樹種数をふやし分類学、生態学的見地から検討を要すると思われる。

4.3 せん孔板、壁孔とらせん肥厚間の関係

1) ベスチャード壁孔の存在と壁孔の形態との関係

観察されたベスチャード壁孔を持つ樹種では、VV 壁孔は全てベスチャード壁孔であったが、VR、VP 壁孔は全部がベスチャード壁孔である場合と一部がベスチャード壁孔である場合の両方があった。これは、ベスチャーの発生は壁孔の形態と密接な関係があるからである。供試材のVV 壁孔に、交互状、階段状と対列状の3つが観察されたが、ベスチャード壁孔の発生は交互状の壁孔だけであった。階段状と対列状のものにはベスチャーが発生していなかった。ベスチャード壁孔が存在する場合、VV 壁孔とVR・VP 壁孔がほぼ同じ形態をしている樹種では、VV・VR・VP 壁孔のすべてがベスチャード壁孔である。水平状集合と不規則な集合の2つのタイプのVR・VP 壁孔にはいろいろな形態のものが存在する。壁孔縁の程度にも顕著なものから軽微なものまで様々なものがあり、ベスチャーの発達も変化にとんでいる。

ベスチャーは壁孔縁の有縁の程度が顕著で孔口が小さい壁孔にはよく発達しているが、壁孔縁の有縁の程度が軽微で孔口が大きな壁孔には発達していない傾向が認められた。

2) ベスチャード壁孔とベスチャードせん孔板との関係

ベスチャード壁孔とベスチャードせん孔板両方が観察されたのは *Gardenia jasminoides* (Rubiaceae) のみであった。しかも、その他のベスチャード壁孔を持つ樹種にはベスチャードせん孔板が観察されなかった。この事実を見ると、ベスチャードせん孔板の出現はベスチャード壁孔と関係がないと考えられる。Ohtani (1987) と Meylan・Butterfield (1980) の報告によると、*Gardenia jasminoides* が属しているアカネ科 (Rubiaceae) の他の樹種にもベスチャードせん孔板が観察されている。

3) 階段壁孔と階段せん孔板との関係

階段壁孔を持つ樹種全部に階段せん孔板が認められた。階段壁孔を持つ樹種はモクレン科 (Magnoliaceae) の 4 属 4 樹種とツバキ科の 1 属 2 種である。 *Michelia alba*, *Paramichelia baillonii*, *Talauma gitingensis* は階段せん孔のみを持つが、同科の *Magnolia heptapeta* は、階段せん孔のほか単せん孔も持っている。しかし、このような単せん孔の上下の末端壁にしばしば階段状の中間形態のものが観察されたことは興味深い (Photo 18, 21)。一般に、せん孔のすぐ近くにあるものは開孔の隅に一次壁のマイクロフィブリルが残っているが、はなれた部位には壁孔壁が認められた。 *Schima argentea* と *Schima wallichii* の 2 種は階段せん孔と多孔せん孔を持つが、大部分は階段せん孔である。

4) らせん肥厚と壁孔との関係

バラ科 (Rosaceae) の *Malus rockii* (Photo 158, 159), トウダイグサ科 (Euphorbiaceae) の *Baccaurea ramiflora* (Photo 171) に観察されたらせん肥厚は壁孔をはさんで上下に肩のように位置し、対をなしている、Ohtani (1983) により、このようならせん肥厚は日本産のウツギ (*Deutzia crenata*) など 11 樹種に存在すると報告されている。

らせん肥厚のらせん方向の変化や道管壁への消失は、VR 壁孔の密集している領域で起こる傾向があり、これが、*Sorbus thibetica* や *Acer forrestii* などに認められた (Photo 145, 147, 148)。

本研究は SEM より 71 樹種の雲南産広葉樹材の道管壁修飾構造の樹種的な特徴を明らかにしたものであり、雲南材の微細構造を解明する研究の第一歩である。本研究では、従来光学顕微鏡で分かっていたことの微細な形態を三次元的に観察した。さらに、今まで光学顕微鏡で観察できなかったことを新たに観察し、いくつかの新しい構造を明らかにした。本研究によって得られた成果は木材の微細構造による樹種識別の可能性を示唆した。

約 3,000 種もあると言われている雲南材のうち、主要広葉樹材の数についての意見は研究者により異なるが、更に多くの樹種について、道管壁修飾構造以外の構造についても観察を続ける必要がある。筆者の望みはもっと多くの雲南材の組織構造を研究し、それらの微細構造の特徴を解明することにある。

最後に、終始試料の採集と材鑑の提供に親切な御指導、御協力を頂いた中国科学院昆明植物研究所の唐 燿先生、西南林学院の肖紹瓊助教授、何培緒助教授、雷 華助手、中国科学院雲南熱帯植物研究所の鄒寿青副研究員、雲南省林業科学院の羅良才高級工程師に対し、深く感謝の意を表す。

文 献

- BAAS, P. (1977) "The peculiar wood structure of *leptospermum crassipes* Lehm (Myrtaceae)." *IAWA Bull.*, 1977, 2: 25-30.
- BAAS, P. and ZHANG, X. (1986) "Wood anatomy of trees and shrubs from China. 1. Oleaceae." *IAWA Bull. n. s.* 1986/7(3): 195-220.
- BAILEY, I. W. (1933) "The cambium and its derivative tissues. VIII Structure, distribution, and diagnostic significance of vestured pits in dicotyledons." *J. Arn. Arb.*, 14: 259-273.
- BUTTERFIELD, B. G. and MEYLAN, B. A. (1971) "Perforation plates. Observations using Scanning electron microscopy." *N. Z. J. For. Sci.* 1: 116-124.
- and — (1972) "Scalariform perforation plate development in *Laurelia noveazelandiae* A. Cunn. a scanning electron microscopy study." *Aust. J. Bot.* 20, 253-9.
- and — (1974) "Vestured scalariform perforation plate openings in *Neomyrtus pedunculata*." *Aust. J. Bot.*, 22: 425-427.
- and — (1975) "Simple to scalariform combination perforation plates in *Vitex lucens* KIRK (Verbenaceae) and *Brachyglottis repanda* J. R. et G. FORST (Compositae)." *IAWA Bull.* 1975/3: 39-42.
- and — (1980) "Three-dimensional structure of wood. An ultrastructural approach." 2nd Ed. Chapman and Hall. New York.
- CHALK, L. (1933) "Multiperforate plates in vessels, with special reference to the Bignoniaceae." *For.*, 7: 16-25.
- CANRIGHT, J. E. (1955) "The comparative morphology and relationships of the Magnoliaceae-IV. Wood and nodal anatomy." *J. Arnold Arboretum*, 36, 119-140, 1955.
- CÔTÉ, W. A. JR. and DAY, A. C. (1962) "Vestured pits—fine structure and apparent relationship with warts." *Tappi*, 45: 906-910, 1962.
- DONALDSON, L. A. (1984) "Wood anatomy of five exotic hardwoods grown in Western Samoa." *N. Z. J. For. Sic.*, 14(3): 305-318, 1984.
- ESAU, K. and HEWITT, W. M. B. (1940) "Structure of end wall in differentiating vessels." *Hilgardia*, 13: 229-244.
- EXLEY, R. R., BUTTERFIELD, B. A. and MEYLAN, B. A. (1973) "The preparation of wood specimens for the scanning electron microscope." *J. Microscopy*, 101(1): 21-30.
- and MEYLAN, B. A. and BUTTERFIELD, B. G. (1977) "A technique for obtaining clean cut surfaces on wood samples prepared for the scanning electron microscope." *J. Microscopy*, 110(1): 75-78.
- FROST, F. H. (1930) "Specialization in secondary xylem of dicotyledons. II. Evolution of end wall of vessel segment." *Bot. Gaz.*, 90: 67-94.
- 呉 晋, 大谷 諄, 深沢和三 (1987) "雲南広葉樹材のせん孔板のSEM観察." 日本木材学会北海道支部講演集, 19: 17-20.
- 一, 一, 一, 肖紹瓊 (1988. 7) "雲南産主要広葉樹材の道管のらせん肥厚のSEM観察." 第38回日本木材学会大会 (旭川) 研究発表要旨集, p. 444.
- 呉征鎰 (主編) (1984) "雲南種子植物名録 上, 下." 雲南人民出版社, pp. 2259, 昆明.
- 呉征鎰 (主編) (1985) "雲南の植物 I, II, III." 日本NHK出版社, 雲南人民出版社. I: pp. 482: II: pp. 530: III: pp. 521.
- 呉蓉清ら (1985) "雲南商品木材図鑑" 雲南人民出版社, 昆明.
- GRAY, R. L. and de ZEEUW, C. (1974) "Terminology for multiperforate plates in vessel elements." *IAWA Bull.* 1974/2: 22-27.
- 原田 浩 (1968) "電子顕微鏡下のラワン材—特にベスチャード膜孔とチロースについて—" 木材工業, 23

- (12), 550-554.
- 平川泰彦, 石田茂雄 (1984) “走査型電子顕微鏡による道管二次壁の層構造の観察” 北大演研報, 41(1): 191-204.
- ISHIDA, S. and OHTANI, J. (1970) “Study on the pit of wood cells using scanning electron microscopy 1. An observation of the vested pits in black locust, *Robinia Pseudo-acacia* LINN.” *Res. Bull. Exp. For. Hokkaido Univ.*, 27: 347-354, 1970.
- and — (1974) “An observation of scalariform perforation plate of the vessel in some hardwoods using scanning electron microscopy.” *Res. Bull. exp. For. Hokkaido Univ.*, 31(1): 79-86.
- 何天相 (1985) “華南広葉樹木材識別” 中国林业出版社, pp. 389, 北京.
- 国際木材解剖学者連合用語委員会 “国際木材解剖用語集” 木材学会誌, 1975/9, 21(9).
- KUCERA, L. J.: MEYLAN, B. A. and BUTTERFIELD, B. G. (1977) “Vestured simple perforation plates.” *IAWA Bull.* 1977/1: 3-6.
- 羅良才 (1987) “雲南主要樹種木材の物理力学性質と用途” 雲南科学技術出版社, 昆明.
- MCLAUGHLIN, R. P. (1933) “Systematic anatomy of the woods of the Magnoliales” *Trop. Woods*, 34: 3-39.
- METCALFE, C. R. and CHALK, L. (1983) “Anatomy of the dicotyledons” 2nd Ed. Vols I and II Clarendon Press, Oxford.
- MEYLAN, B. A. and BUTTERFIELD, B. G. (1972a) “Perforation plate development in *Knightia excelsa* R. BR.: a scanning electron microscope study.” *Aust. J. Bot.* 20: 79-86.
- and — (1972b) “Scalariform perforation plates: observations using scanning electron microscopy.” *Wood and Fiber*, 4: 225-233.
- and — (1973) “Unusual perforation plates: observation using scanning electron microscopy.” *Micron.*, 4: 47-59.
- and — (1974) “Occurrence of vested pits in the vessels and fibres of New Zealand woods.” *N. Z. J. Bot.*, 12: 3-18.
- and — (1975) “Occurrence of simple, multiple and combination perforation plates in the vessels of New Zealand woods.” *N. Z. J. Bot.* 13: 1-8.
- and — (1978a) “Occurrence of helical thickenings in the vessels of New Zealand woods.” *New Phytol.*, 81: 139-146.
- and — (1978b) “The structure of New Zealand woods.” *DSIR Bull.* 222, *N. Z. Dept. Sic. Ind. Res.*, 1-25, Wellington.
- OHTANI, J. (1983) “SEM investigation on the micromorphology of vessel wall sculptures.” *Res. Bull. Exp. For. Hokkaido Univ.*, 40(2): 323-386.
- (1987) “Vestures in septate wood fibres.” *IAWA Bull. n. s.*, Vol. 8(1), 1987.
- and ISHIDA, S. (1973) “An observation of the sculptures of the vessel wall of *Fagus crenata* BL. using scanning electron microscopy.” *Res. Bull. Exp. For. Hokkaido Univ.*, 30: 125-144.
- and — (1976a) “An observation on perforation plate differentiation in *Fagus crenata* BL., using scanning electron microscopy.” *Res. Bull. Exp. For. Hokkaido Univ.*, 33(1): 115-126.
- and — (1976b) “Study on the pit of wood cells using SEM. Report 5. Vested pits in Japanese dicotyledonous woods.” *Res. Bull. Coll. Exp. For. Hokkaido Univ.*, 33(2): 407-436.
- and — (1978a) “An observation on the perforation plates in Japanese dicotyledonous woods using scanning electron microscopy.” *Res. Bull. Coll. Exp. For. Hokkaido Univ.*, 35(1): 65-98.
- and — (1978b) “An observation on the spiral thickenings in the vessel members in Japanese dicotyledonous woods using scanning electron microscopy.” *Res. Bull. Exp. For. Hokkaido Univ.*, 35(2): 433-464.

- 大谷 諒, 吳 晋, 深沢和三, 肖紹瓊 (1988) “*Gmelina arborea* の道管せん孔の SEM 観察” 日本木材学会第 38 回大会研究発表要旨集, 445.
- PANSHIN, A. J. and de ZEEUW, C. (1980) “Textbook of wood technology.” Vol. 1, 4th ed., McGraw-Hill Book Co., New York.
- PARAMESWARAN, N. and LIESE, W. (1973) “Scanning electron microscopy of multiperforation plates.” *Holzforsch.*, **27**: 181-186.
- and — (1974) “Vestured pits in vessels and tracheids of *Gnetum*.” *IAWA Bull.* 1974/4: 3-7.
- PARHAM, R. A. (1973) “On the substructure of scalariform perforation plates.” *Wood and Fiber*, **4**(4): 342-346.
- and KAUSTINEN, H. (1973) “On the morphology of spiral thickenings.” *IAWA Bull.*, 1973/2: 8-14.
- 北京林学院主編 (1980) “樹木学” 中国林業出版社, 北京.
- 佐伯 浩 (1982) “走査電子顕微鏡図説 木材の構造” 日本林業普及協会, 東京.
- SCHMID, R. and MACHADO, R. D. (1964) “Zur Entstehung und Feinstruktur skulpturierter Hoftüpfel bei Leguminosen.” *Planta*, **60**: 612-626.
- and BASS, P. (1984) “The occurrence of scalariform perforation plates and helical vessel wall thickenings in wood of Myrtaceae.” *IAWA Bull. n. s.*, **5**: 197-216.
- SCURFIELD, G. and SILVA, S. R. (1970) “The vestured pits in *Eucalyptus regnans* F. MUELL.: a study using scanning electron microscopy.” *Bot. J. Linn. Soc.* **63**: 313-320.
- 成俊卿 (1980) “中国熱帯, 亜熱帯材” pp. 621, 科学出版社, 北京.
- (主編) (1985) “木材学” pp. 1379, 中国林業出版社, 北京.
- 須藤彰司 (1970) “南洋材” 地球出版社, 東京.
- 島地 謙, 須藤彰司, 原田 浩 (1976) “木材の組織” 森北出版, 東京.
- 島地 謙, 伊東隆夫 (1982) “図説木材組織” 地球社.
- 島地 謙ら (1985) “木材構造” 文永堂.
- 唐 燿 (1936) “中国木材学” 商務印書館, 上海.
- 唐 燿 (1973) “雲南熱帯材及亜熱帯材” pp. 269, 科学出版社, 北京.
- 鄭万鈞 (1983) “中国樹木誌” 第 1 卷, 第 2 卷, 中国林業出版社, pp. 2398 北京.
- 雲南熱帯植物研究所編集 (1984) “西双版纳植物名録” 雲南民族出版社, 昆明.
- VAN VLIET, G. J. C. M. (1978) “Vestured pits of Combretaceae and allied families.” *Acta Bot. Neerl.*, **27**: 273-285.
- WU, J., OHTANI, J. and FUKAZAWA, K. (1988) “SEM observations on vestured pits in some Yunnan hardwoods.” *Res. Bull. Exp. For. Hokkaido Univ.*, **45**(3): 789-809.

Summary

The micromorphology of vessel wall modifications was observed in 71 species, 59 genera and 37 families (Table 1) of Yunnan native hardwoods using SEM. The present SEM observations revealed aspects of the micromorphology of vessel wall modifications which had not previously been described and also confirmed findings already established at the light microscopic level.

Wood samples were obtained from living trees grown naturally and/or the wood sample collection of the Kunming Institute of Botany, Southwest Forest College and the Forest Institute of Yunnan (Table 2). All of the small blocks were taken from the outer sapwood. The various surfaces of the blocks to be observed, mainly longitudinal radial surfaces, were prepared by cutting using a microtome with a single edge blade, and by splitting. Specimens were attached to

a brass standard stub with an electrically conductive adhesive. They were coated with carbon and gold while being rotated in a high-vacuum evaporation unit. Observations were made with a JSM-35CFII scanning electron microscope at 15kV.

In order to analyze the observations made on the micromorphology of vessel wall modifications, each of the modifications was divided into several types on the basis of certain micromorphological criteria. Based on the occurrence of each of these types of modification within a species, a classification scheme consisting of several groups was developed.

Perforation plates were divided into three types, i. e., simple, scalariform and multiple (Fig. 2). Based on the occurrence of these types within a species, the species examined were classified into the following six groups (Table 3): (1) 50 species (41 genera, 28 families) having exclusively simple perforations (Table 4, photos 5-10), (2) 6 species (5 genera, 2 families) having exclusively scalariform perforation plates (Table 5, photos 11-16), (3) 2 species (2 genera, 2 families) having simple and scalariform perforation plates (Table 6, photos 17-24), (4) 6 species (5 genera, 4 families) having simple and multiple perforation plates (Table 7, photos 25-42), (5) 6 species (5 genera, 5 families) having scalariform and multiple perforation plates (Table 8, photos 43-65), (6) 1 species having simple, scalariform and multiple perforation plates (Table 9, photos 66-69).

Mismatching and combination perforation plates occurred in most woods having more than one type of perforation plate. They were found in some winding, short vessel members in 15 of the species examined. Morphological variations in the perforation plates were related to the shape of vessel members in 4 of the 15 species and to the position of vessel members in the growth rings in 2 of the 15 species, but showed neither relation in the other 9 species.

Observations of the pits were made on the basis of their arrangement and the morphology of vested pits. The arrangement of VV pitting was divided into three types: i. e., scalariform, opposite and alternate pitting (Fig. 3). Based on the arrangement of VV pits within a species, the species examined were classified into following three groups (Table 10): (1) 6 species (5 genera, 2 families) having scalariform pitting (photos 71-75), (2) 2 species (2 genera, 2 families) having opposite pitting (photo 70), (3) 63 species (52 genera, 32 families) having alternate pitting (photos 76-78). VR pits were divided into six types: i. e., alternate, opposite, scalariform, palisade-like, horizontal and irregular pitting (Fig. 4). Based on the arrangement of VR pits, (excepting alternate and opposite pitting which were similar to the VV pitting) the species examined were classified into the following six groups (Table 11): (1) 3 species (1 genera, 1 family) having palisade-like pitting (photos 82 and 83), (2) 4 species (4 genera, 3 families) having both palisade-like and irregular pitting (photos 84-86), (3) 6 species (5 genera, 2 families) having scalariform pitting (photos 79-81), (4) 3 species (3 genera, 3 families) having intermediate pitting between scalariform and opposite (photos 87 and 88), (5) 21 species (18 genera, 12 families) having horizontal pitting (photos 89 and 90), (6) 6 species (6 genera, 6 families) having irregular pitting (photos 91-93).

Based on the presence or absence of vested pits within a species, the species examined were classified into three groups (Table 12): (1) 11 species (9 genera, 6 families) having exclusively vested pits (photos 94-124), (2) 5 species (4 genera, 4 families) having vested and non-vested pits (photos 125-135), (3) 55 species (46 genera, 28 families) having non-vested pits. Vested VV pits were divided into five types from differences in the degree of extension and in the position of vesturing within a pit (Fig. 4), and the species having vested pits were classified into five subgroups based on the occurrence of these types (Table 13).

Vestured and non-vestured VR pits were found in 5 species (4 genera, 4 families). Vestures were found in smaller pits having a prominent border, but not in larger ones having a less distinct border.

Based on the occurrence of spiral thickenings within a species, the species examined were classified into the following three groups (Table 14): (1) 12 species (11 genera, 8 families) having spiral thickenings in all of the vessel members (Table 15, photos 136-153), (2) 9 species (7 genera, 6 families) having spiral thickenings in some of the vessel members (Table 16, photos 154-177), (3) 50 species (41 genera, 30 families) having no spiral thickenings in all of the vessel members (Table 18).

Spiral thickenings were divided into four types on the basis of the degree of their development and the regularity of the height, width and spacing of their ridges and in their helical direction, i. e., regularly prominent, irregularly prominent, regularly nonprominent and irregularly nonprominent spiral thickenings (Fig. 5). Based on the occurrence of these types within a species, the groups (1) and (2) described above were classified into six and three subgroups, respectively (Tables 15 and 16). Moreover, the species having spiral thickenings were classified into six groups based on the helical direction of their spiral thickenings (Table 17).

The characteristic micromorphological features of the perforation plates, pits and spiral thickenings in Yunnan native hardwoods are summarized in Table 19.

Explanation of photographs

- Photo 1.** Forest of Lijiang in Yunnan province. (Photo by Wu, 1985)
- Photo 2.** Forest of Kunming in Yunnan province.
- Photo 3.** Tropical rain forest of Xishuangbanna in Yunnan province.
- Photo 4.** Massive buttress roots of *Erythrina* growing in the tropical rain forest of Xishuangbanna in Yunnan province.
- Photo 5.** *Litsea glutinosa* C. B. ROB. Simple perforations. 130×
- Photo 6.** *Litsea glutinosa* C. B. ROB. A simple perforation with bordered rim. 365×
- Photo 7.** *Gardenia jasminoides* (LINN.) ELLIS A simple perforation with vestures. 2500×
- Photo 8.** *Gardenia jasminoides* (LINN.) ELLIS Portion of the simple perforation with vestures. 7200×
- Photo 9.** *Gardenia jasminoides* (LINN.) ELLIS A simple perforation without vestures. 2200×
- Photo 10.** *Salix balfouriana* SCHNEID. in SARG. An unusual simple perforation. 830×
- Photo 11.** *Betula alnoides* BUCH.-HAM. Scalariform perforation plates. 170×
- Photo 12.** *Betula alnoides* BUCH.-HAM. Portion of a scalariform perforation plate with many branched bars. 220×
- Photo 13.** *Betula alnoides* BUCH.-HAM. Portion of a scalariform perforation plate with branched bars. 170×
- Photo 14.** *Michelia alba* DC. Scalariform perforation plates. 300×

- Photo 15.** *Paramichelia baillonii* (PIERRE.)HU A scalariform perforation plate, showing the scalariform pitting above and below it. 330×
- Photo 16.** *Talauma gitingensis* ELM. Portion of a scalariform perforation plate. 650×
- Photo 17.** *Magnolia heptapeta* (BUC'HOZ.) DANDY Simple perforations. 170×
- Photo 18.** *Magnolia heptapeta* (BUC'HOZ.) DANDY Portion of a simple perforation, showing the opposite pitting beside perforation plate. 240×
- Photo 19.** *Magnolia heptapeta* (BUC'HOZ.) DANDY Portion of a scalariform perforation plate. 830×
- Photo 20.** *Magnolia heptapeta* (BUC'HOZ.) DANDY Portion of a simple perforation. 550×
- Photo 21.** *Magnolia heptapeta* (BUC'HOZ.) DANDY Portion of the intermediate form between pitting and perforation showing the microfibrillar webs in the openings. 2000×
- Photo 22.** *Vitex quinata* (LOUR.) WILL. A scalariform perforation plate. 450×
- Photo 23.** *Vitex quinata* (LOUR.) WILL. A scalariform perforation plate. 500×
- Photo 24.** *Vitex quinata* (LOUR.) WILL. A close-up view of photo 22. 1200×
- Photo 25.** *Stereospermum tetragonum* (WALL.) DC. Portion of a multiple perforation plate. 830×
- Photo 26.** *Stereospermum tetragonum* (WALL.) DC. Portion of a multiple perforation plate. 2100×
- Photo 27.** *Gmelina arborea* ROXB. Simple and multiple perforations in the cross section. 65×
- Photo 28.** *Gmelina arborea* ROXB. Simple and multiple perforations in the radial surface. 100×
- Photo 29.** *Gmelina arborea* ROXB. A multiple perforation plate. 130×
- Photo 30.** *Gmelina arborea* ROXB. A close-up view of photo 29. 2000×
- Photo 31.** *Sorbus thibetica* (CARDOT) HAND.-MAZZ. Simple perforations and a multiple perforation plate in the surface (radial). 300×
- Photo 32.** *Sorbus thibetica* (CARDOT) HAND.-MAZZ. An irregular simple perforation. 2500×
- Photo 33.** *Sorbus thibetica* (CARDOT) HAND.-MAZZ. A multiple perforation plate. 2000×
- Photo 34.** *Sorbus thibetica* (CARDOT) HAND.-MAZZ. A multiple perforation plate. 2500×
- Photo 35.** *Gynocardia odorata* R. BR. in ROXB. Simple perforations. 130×
- Photo 36.** *Gynocardia odorata* R. BR. in ROXB. Portion of a simple perforation showing the small openings beside it. 450×
- Photo 37.** *Gynocardia odorata* R. BR. in ROXB. Portion of a multiple perforation plate with irregular openings. 580×
- Photo 38.** *Gynocardia odorata* R. BR. in ROXB. Portion of a multiple perforation, having many openings around a large one. 1300×
- Photo 39.** *Gynocardia odorata* R. BR. in ROXB. Simple to multiple combination perforation plates in a short and winding vessel member. 330×
- Photo 40.** *Callicarpa arborea* ROXB. Simple perforations. 200×

- Photo 41.** *Callicarpa arborea* ROXB. An unusual multiple perforation plate. 710×
- Photo 42.** *Callicarpa poilanei* P. DOP. An unusual multiple perforation plate. 220×
- Photo 43.** *Comptothea acuminata* DECNE. Scalariform perforation plates in earlywood and multiple perforation plates in latewood. 80×
- Photo 44.** *Rhododendron rubiginosum* FRANCH. Scalariform perforation plates in earlywood and a multiple perforation plate in latewood. 210×
- Photo 45.** *Comptothea acuminata* DECNE. Scalariform perforation plates in earlywood and a multiple perforation plate in latewood. 300×
- Photo 46.** *Comptothea acuminata* DECNE. Scalariform perforation plate in earlywood. 200×
- Photo 47.** *Comptothea acuminata* DECNE. Portion of a multiple perforation plate in latewood. 750×
- Photo 48.** *Rhododendron rubiginosum* FRANCH. A scalariform perforation plate in earlywood and a multiple perforation plate in latewood. 500×
- Photo 49.** *Rhododendron rubiginosum* FRANCH. A multiple perforation plate in latewood. 1100×
- Photo 50.** *Meliosma cuneifolia* FRANCH. Scalariform perforation plates. 290×
- Photo 51.** *Meliosma cuneifolia* FRANCH. Scalariform perforation plates. 270×
- Photo 52.** *Meliosma cuneifolia* FRANCH. A scalariform perforation plate with branched bars. 450×
- Photo 53.** *Meliosma cuneifolia* FRANCH. Intermediate form between scalariform and multiple perforation plate. 550×
- Photo 54.** *Meliosma cuneifolia* FRANCH. Portion of a multiple perforation plate. 550×
- Photo 55.** *Meliosma cuneifolia* FRANCH. Portion of a multiple perforation plate showing the microfibrillar webs. 1800×
- Photo 56.** *Saurauia tristyla* DC. A scalariform perforation plate. 260×
- Photo 57.** *Saurauia tristyla* DC. Portion of a multiple perforation plate. 1300×
- Photo 58.** *Saurauia tristyla* DC. Intermediate form between scalariform and multiple perforation plates. 300×
- Photo 59.** *Saurauia tristyla* DC. A mismatching perforation plate in short and winding vessel member. 270×
- Photo 60.** *Saurauia tristyla* DC. A higher magnification view of the plate in photo 59. 2500×
- Photo 61.** *Schima argentea* PRITZ. A scalariform perforation plate. 330×
- Photo 62.** *Schima argentea* PRITZ. A multiple perforation plate. 450×
- Photo 63.** *Schima wallichii* (DC.) KORTH. Portion of a scalariform perforation plate. 330×
- Photo 64.** *Schima wallichii* (DC.) KORTH. Portion of a mismatching perforation plate in small vessel member. 270×
- Photo 65.** *Schima wallichii* (DC.) KORTH. A close-up view of photo 64. 1300×

- Photo 66.** *Baccaurea ramiflora* LOUR. Simple perforations. 300×
- Photo 67.** *Baccaurea ramiflora* LOUR. An unusual simple perforation. 830×
- Photo 68.** *Baccaurea ramiflora* LOUR. A multiple perforation plate. 650×
- Photo 69.** *Baccaurea ramiflora* LOUR. Portion of a scalariform perforation plate. 330×
- Photo 70.** *Saurauia tristyla* DC. Inner surface of vessel wall showing opposite pitting. 2200×
- Photo 71.** *Magnolia heptapeta* (BUC'HOZ.) DANDY. Inner surface of vessel wall showing scalariform pitting. 1000×
- Photo 72.** *Paramichelia baillonii* (PIERRE) HU Inner surface of vessel wall showing scalariform pitting. 80×
- Photo 73.** *Michelia alba* DC. Inner surface of vessel wall showing scalariform pitting. 330×
- Photo 74.** *Schima wallichii* (DC.) KORTH. Inner surface of vessel wall showing scalariform and opposite pitting. 200×
- Photo 75.** *Magnolia heptapeta* (BUC'HOZ.) DANDY Inner surface of vessel wall showing intermediate form between scalariform and opposite pitting. 410×
- Photo 76.** *Sapium sebiferum* (LINN.) ROXB. Inner surface of vessel wall showing coalescent apertures of alternate pitting. 1300×
- Photo 77.** *Aphananthe cuspidata* (BLUME) PLANCH. in DC. Inner surface of vessel wall showing coalescent apertures of alternate pitting. 2300×
- Photo 78.** *Betula albo-sinensis* BURKILL Inner surface of vessel wall showing coalescent apertures of alternate pitting. 3300×
- Photo 79.** *Magnolia heptapeta* (BUC'HOZ.) DANDY Inner surface of vessel wall showing scalariform and opposite pitting. 330×
- Photo 80.** *Schima argentea* PRITZ. Inner surface of vessel wall showing scalariform pitting. 300×
- Photo 81.** *Schima wallichii* (DC.) KORTH. Inner surface of vessel wall showing scalariform pitting. 100×
- Photo 82.** *Quercus acutissima* CARR. Inner surface of vessel wall showing palisade-like pitting. 170×
- Photo 83.** *Quercus yunnanensis* FRANCH. Inner surface of vessel wall showing palisade-like pitting. 1300×
- Photo 84.** *Duabanga grandiflora* (ROXB.) et DC. WALP. Inner surface of vessel wall showing palisade-like and irregular pitting. 260×
- Photo 85.** *Trema orientalis* (L.) BLUME Inner surface of vessel wall showing palisade-like and irregular pitting. 670×
- Photo 86.** *Calophyllum polyanthum* WALL. ex CHOISY Inner surface of vessel wall showing palisade-like and irregular pitting. 250×

- Photo 87.** *Pistacia weinmannifolia* J. POISSON ex FRANCH. Inner surface of vessel wall showing intermediate form between scalariform and opposite pitting. 580×
- Photo 88.** *Garuga pinnata* ROXB. Inner surface of vessel wall showing intermediate form between scalariform and opposite pitting. 500×
- Photo 89.** *Gynocardia odorata* R. BR. in ROXB. Inner surface of vessel wall showing horizontal pitting. 330×
- Photo 90.** *Populus yunnanensis* DODE Inner surface of vessel wall showing horizontal pitting. 1000×
- Photo 91.** *Aphananthe cuspidata* (BLUME) PLANCH. in DC. Inner surface of vessel wall showing irregular pitting. 360×
- Photo 92.** *Duabanga grandiflora* (ROXB.) et DC. WALP. Inner surface of vessel wall showing palisade-like and irregular pitting. 540×
- Photo 93.** *Macaranga denticulata* (BL.) MUELL.-ARG. Inner surface of vessel wall showing irregular pitting. 460×
- Photo 94.** *Cassia siamea* LAMARCK. Vestured intervacular pits in the wall of a vessel member viewed from the lumen side. 260×
- Photo 95.** *Cassia siamea* LAMARCK. Vestured intervacular pits in the wall of a vessel member viewed from the outer surface. 3700×
- Photo 96.** *Cassia siamea* LAMARCK. A longitudinal cut through the walls of two adjacent vessel members showing the position of the vestures within intervacular pits. 5000×
- Photo 97.** *Erythrina lithosperma*. Vestured intervacular pits in the wall of a vessel member viewed from the lumen side. 3000×
- Photo 98.** *Erythrina lithosperma*. Vestured intervacular pits in the wall of a vessel member viewed from the outer surface. 2900×
- Photo 99.** *Dalbergia polyadelpa* PRAIN. Vestured intervacular pits in the wall of a vessel member viewed from the lumen side and outer surface. 1700×
- Photo 100.** *Erythrina arborescens* ROXB. Vestured intervacular pits in the wall of a vessel member viewed from the outer surface. 2900×
- Photo 101.** *Albizia lucidior* (STEUDEL) I. NIELSEN Vestured intervacular pits in the wall of a vessel member viewed from the lumen side. 4200×
- Photo 102.** *Albizia lucidior* (STEUDEL) I. NIELSEN Vestured intervacular pits in the wall of a vessel member viewed from the lumen side. 5000×
- Photo 103.** *Albizia lucidior* (STEUDEL) I. NIELSEN Vestured intervacular pits in the wall of a vessel member viewed from the outer surface. 6000×
- Photo 104.** *Alstonia scholaris* (LINN.) R. BR. Vestured intervacular pits in the wall of a vessel mem-

ber viewed from the lumen side. 5900×

- Photo 105.** *Alstonia scholaris* (LINN.) R. BR. Vestured intervacular pits in the wall of a vessel member viewed from the outer surface. 4200×
- Photo 106.** *Cleistanthus saichikii*. Vestured intervacular pits in the wall of a vessel member viewed from the lumen side. 4000×
- Photo 107.** *Cleistanthus saichikii*. Vestured intervacular pits in the wall of a vessel member viewed from the outer surface. 4200×
- Photo 108.** *Syzygium szemaoense* MERR. et PERRY Vestured intervacular pits in the wall of a vessel member viewed from the lumen side. 4500×
- Photo 109.** *Syzygium szemaoense* MERR. et PERRY A longitudinal cut through the walls of two adjacent vessel members showing the position of the vestures within intervacular pits. 3300×
- Photo 110.** *Syzygium szemaoense* MERR. et PERRY A vestured intervacular pit in the wall of a vessel member viewed from the outer surface. 8300×
- Photo 111.** *Anthocephalus chinensis* (LAM.) RICH ex WALP. Vestured intervacular pits in the wall of a vessel member viewed from the lumen side. 4000×
- Photo 112.** *Anthocephalus chinensis* (LAM.) RICH ex WALP. Vestured intervacular pits in the wall of a vessel member viewed from the outer surface. 4200×
- Photo 113.** *Terminalia belericoides*. Vestured pits without vestures from the margin of the inner apertures on the pit borders. 5000×
- Photo 114.** *Terminalia myriocarpa* HUERCK et M.-A. Vestured intervacular pits in the wall of a vessel member viewed from the outer surface. 3600×
- Photo 115.** *Terminalia belericoides*. Vestured intervacular pits in the wall of a vessel member viewed from the outer surface. 3300×
- Photo 116.** *Lagerstroemia tomentosa* FRESL. Vestured pits without vestures from the margin of the inner apertures on the pit borders. 500×
- Photo 117.** *Lagerstroemia tomentosa* FRESL. Vestured intervacular pits in the wall of a vessel member viewed from the outer surface. 3300×
- Photo 118.** *Acrocarpus fraxinifolius* ARN. ex WIGHT Vestured intervacular pits without vestures from the margin of the inner apertures on the pit borders. 1500×
- Photo 119.** *Duabanga grandiflora* (ROXB.) et DC. WALP. Vestured intervacular pits without vestures from the margin of the inner apertures on the pit borders. 2500×
- Photo 120.** *Duabanga grandiflora* (ROXB.) et DC. WALP. Vestured intervacular pits in the wall of a vessel member viewed from the outer surface. 5000×
- Photo 121.** *Duabanga grandiflora* (ROXB.) et DC. WALP. A longitudinal cut through the walls of two

adjacent vessel members showing the position of the vestures within intervascular pits. 3000×

- Photo 122.** *Dalbergia szemaoensis* PRAIN. Vestured intervascular pits without vestures from the margin of the inner apertures on the pit borders. 1700×
- Photo 123.** *Dalbergia polyadelpa* PRAIN. Vestured intervascular pits without vestures from the margin of the apertures on the pit borders. 1000×
- Photo 124.** *Dalbergia polyadelpa* PRAIN. Vestured intervascular pits in the wall of a vessel member viewed from the outer surface. 2500×
- Photo 125.** *Cassia siamea* LAMARCK. Vestured pits between vessel and ray parenchyma in the wall of a vessel member viewed from the lumen side. 3300×
- Photo 126.** *Dalbergia polyadelpa* PRAIN. Vestured vessel to ray parenchyma pits in the wall of a vessel member viewed from the lumen side. 2300×
- Photo 127.** *Cleistanthus saichikii*. Vestured vessel to ray parenchyma pits in the wall of a vessel member viewed from the lumen side. 7100×
- Photo 128.** *Terminalia belericoides*. Vestured vessel to ray parenchyma pits in the wall of a vessel member viewed from the lumen side. 6200×
- Photo 129.** *Syzygium szemaoense* MERR. et PERRY Vestured vessel to ray parenchyma pits in the wall of a vessel member viewed from the lumen side. 1900×
- Photo 130.** *Syzygium szemaoense* MERR. et PERRY Vestured vessel to ray parenchyma pits in the wall of a vessel member viewed from the outer surface. 1700×
- Photo 131.** *Lagerstroemia tomentosa* FRESL. Vestured vessel to ray parenchyma pits in the wall of a vessel member viewed from the lumen side. 3300×
- Photo 132.** *Duabanga grandiflora* (ROXB.) et DC. WALP. Vestured vessel to ray parenchyma pits in the wall of a vessel member viewed from the lumen side. 3300×
- Photo 133.** *Duabanga grandiflora* (ROXB.) et DC. WALP. Vestured vessel to ray parenchyma pits in the wall of a vessel member viewed from the lumen side. Arrows show the vestures adhering to the pit membrane. 2900×
- Photo 134.** *Cassia siamea* LAMARCK. Vestured vessel to axial parenchyma pits in the wall of a vessel member viewed from the lumen side. 3300×
- Photo 135.** *Dalbergia polyadelpa* PRAIN. Vestured vessel to axial parenchyma pits in the wall of a vessel member viewed from the lumen side. 2700×
- Photo 136.** *Tilia chinensis* MAXIM. Portion of inner vessel wall showing prominent and regular spiral thickenings. 1500×
- Photo 137.** *Tilia paucicostata* MAXIM. Portion of inner vessel wall showing prominent and regular

spiral thickenings. 1300×

Photo 138. *Tilia chinensis* MAXIM. Portion of inner vessel wall showing branched spiral thickenings. 2800×

Photo 139. *Tilia paucicostata* MAXIM. Portion of inner vessel wall showing the ridges of spiral thickenings. 1500×

Photo 140. *Euonymus yunnanensis* FRANCH. Portion of inner vessel wall showing light and regular spiral thickenings. 1000×

Photo 141. *Cerasus clarofolia* SCHNEID. Portion of inner vessel wall showing light and regular spiral thickenings. 1500×

Photo 142. *Sorbus thibetica* (CARDOT) HAND.-MAZZ. Portion of inner vessel wall showing prominent and irregular spiral thickenings. 550×

Photo 143. *Sorbus thibetica* (CARDOT) HAND.-MAZZ. A close-up view of photo 142. 1500×

Photo 144. *Sorbus thibetica* (CARDOT) HAND.-MAZZ. Portion of inner vessel wall showing prominent and irregular spiral thickenings with "S" and "Z" helix. 1300×

Photo 145. *Sorbus thibetica* (CARDOT) HAND.-MAZZ. Portion of inner vessel wall showing the spiral thickenings affected by pitting. 400×

Photo 146. *Acer forrestii* DIELS Portion of inner vessel wall showing light and irregular spiral thickenings. 660×

Photo 147. *Acer forrestii* DIELS Portion of inner vessel wall showing light and irregular spiral thickenings. 1500×

Photo 148. *Acer forrestii* DIELS Portion of inner vessel wall showing light and irregular spiral thickenings. 1800×

Photo 149. *Pometia tomentose* (BL.) TEYSM. et BINN. Portion of inner vessel wall showing irregular spiral thickenings. 400×

Photo 150. *Pometia tomentose* (BL.) TEYSM. et BINN. Portion of inner vessel wall showing light spiral thickenings. 830×

Photo 151. *Pometia tomentose* (BL.) TEYSM. et BINN. Portion of inner vessel wall showing prominent spiral thickenings with "S" helix. 3200×

Photo 152. *Pometia tomentose* (BL.) TEYSM. et BINN. Portion of inner vessel wall showing prominent spiral thickenings with horizontal helix. 3300×

Photo 153. *Erythrina arborescens* ROXB. Portion of inner vessel wall showing light and irregular spiral thickenings. 2000×

Photo 154. *Rhododendron rubiginosum* FRANCH. Portion of inner vessel wall showing light and irregular spiral thickenings with band-like ridges. 3500×

- Photo 155.** *Rhododendron rubiginosum* FRANCH. Portion of inner vessel wall showing light spiral thickenings. 2200×
- Photo 156.** *Rhododendron rubiginosum* FRANCH. Portion of inner vessel wall showing light spiral thickenings. 2600×
- Photo 157.** *Litsea glutinosa* C. B. ROB. Portion of inner vessel wall showing light and irregular spiral thickenings. 1250×
- Photo 158.** *Malus rockii* REHD. Short thickenings positioned above and below the pit apertures. 700×
- Photo 159.** *Malus rockii* REHD. Short thickenings positioned above and below the pit apertures. 1200×
- Photo 160.** *Melia toosenden* SIEB. et ZUCC. Portion of inner vessel wall in earlywood without spiral thickenings. 750×
- Photo 161.** *Melia toosenden* SIEB. et ZUCC. Portion of inner surface of large vessel, showing light spiral thickenings. 2500×
- Photo 162.** *Melia toosenden* SIEB. et ZUCC. Portion of inner vessel wall in latewood, showing prominent spiral thickenings. 1300×
- Photo 163.** *Melia azebarach* L. Portion of inner vessel wall, showing light spiral thickenings. 2100×
- Photo 164.** *Melia azebarach* L. Portion of inner vessel wall, showing prominent spiral thickenings. 3300×
- Photo 165.** *Catalpa duclouxii* (DODE) GILMOUR Portion of inner vessel wall in latewood, showing spiral thickenings. 410×
- Photo 166.** *Catalpa duclouxii* (DODE) GILMOUR Portion of inner vessel wall in latewood, showing spiral thickenings. 2500×
- Photo 167.** *Pistacia weinmannifolia* J. POISSON ex FRANCH. Portion of inner vessel wall, showing light spiral thickenings. 2000×
- Photo 168.** *Pistacia weinmannifolia* J. POISSON ex FRANCH. Portion of inner vessel wall in earlywood without spiral thickenings. 900×
- Photo 169.** *Pistacia weinmannifolia* J. POISSON ex FRANCH. Portion of inner vessel wall in latewood, showing prominent spiral thickenings. 4100×
- Photo 170.** *Pistacia weinmannifolia* J. POISSON ex FRANCH. Portion of inner vessel wall in latewood, showing prominent spiral thickenings. 4100×
- Photo 171.** *Baccaurea ramiflora* LOUR. Short thickenings positioned above and below the pit apertures. 3000×
- Photo 172.** *Baccaurea ramiflora* LOUR. Portion of inner vessel wall, showing light spiral thickenings. 3300×
- Photo 173.** *Arytera litoralis* BL. Portion of inner vessel wall, showing light spiral thickenings. 3000×

Photo 174. *Arytera litoralis* BL. Portion of inner vessel wall, showing light spiral thickenings. 1700×

Photo 175. *Magnolia heptapeta* (BUC'HOZ.) DANDY Irregularly branched and very wide ridges of the spiral thickenings. 800×

Photo 176. *Michelia alba* DC. Irregularly branched ridges of the spiral thickenings. 1100×

Photo 177. *Paramichelia baillonii* (PIERRE) HU Irregular and light spiral thickenings with wide ridges. 830×

