HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ドロノキ材及び樹皮中の結晶の存在・形態と成分
Author(s)	李, 起泳; 深沢, 和三; 石田, 茂雄
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 42(3), 595-608
Issue Date	1985-09
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/21145
Type	bulletin (article)
File Information	42(3)_P595-608.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

ドロノキ材及び樹皮中の結晶の存在・形態と成分*

李 起 泳** 深沢和三** 石田茂雄**

Distribution, Morphology and Chemical Composition of the Crystals in the Wood and Bark of *Populus maximowiczii**

By

Ki Yeong, LEE**, K. FUKAZAWA**
and S. ISHIDA**

目　　次

1. はじめに …… 595
2. 供試木 …… 596
3. 実験方法 …… 597
4. 結　果 …… 598
4.1 材の中にある結晶について …… 598
4.1.1 結晶の出現及び分布 …… 598
4.1.2 結晶の形及び大きさ …… 599
4.1.3 結晶の構造 …… 599
4.1.4 結晶の成分 …… 602
4.2 樹皮の中にある結晶について …… 603
4.2.1 結晶の出現及び分布 …… 603
4.2.2 結晶の形及び大きさ …… 603
4.2.3 結晶の成分 …… 603
5. 考　察 …… 604
文　献 …… 605
Summary …… 605
Explanation of Photographs (Plate 1～17)

1. はじめに

ドロノキ (*Populus maximowiczii* HENRY) はヤマナラシ属の一種であり，外形的には通直・大径の良材が得られ，軽軟な材であるが，むかしから経験的に刃物の損耗が著しいといわれているので利用上難点をもつ樹種とされてきた。道内の各種機関で研究を進めているが，王

* 1985年2月28日受理　Received February 28, 1985.
内容の一部を第34回日本木材学会大会（名古屋1984）で発表した.
北海道大学農学部木材理学講座
** Laboratory of Wood Physics, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

子製紙(株)林木育種研究所でも北海道内産のドロノキの優良個体を選抜し，現在クローニングを行っている[1,2]。これらの検定林 (Photo 1) には樹齢約20年で胸高直径が30 cmに達するものもあり，その有効利用をするためパルプおよび加工適性試験が行われている。特にロータリ切削では問題があって，このようなポプラ類の評価と問題点を糾明するために本研究に着手した結果，ドロノキの心材にかなりの結晶が認められた。

樹木の材の中にある鉱物質やそれらの結晶については非常にたくさんの研究がある。ヤマナラシ属の結晶については JANIN と CLÉMENT[3,4] により広範囲に結晶の有無を調べ報告している。しかしながらドロノキの材の中にある結晶について日本及び韓国におけるこの種の研究は皆無であり，島地他[5]もドロノキにかなすじがあるとのみ記述している。

日本及び韓国におけるヤマナラシ属には，在来種ドロノキの他ヤマナラシ (*P. sieboldii* MIQUEL)，チョウセンヤマナラシ (*P. davidiana* DODE) があるが，外来の樹種も導入されており，また人工雑種もあり早成樹種として今後大いにとりあげられるべき樹種と思われる。そのような樹種的な興味及び加工上問題となる鉱物質の解明，さらに学問的にも心材形成とからんで多湿心材の問題，病理学的に見たバクテリアの問題などいろいろな興味をひく問題が含まれている。

本報では材及び樹皮中の結晶の出現，分布，形態，化学成分についての研究結果を報告する。

2. 供 試 木

2.1 供試木の概要

北海道栗山町王子製紙(株)林木育種研究所から提供されたドロノキの20年生の検定植栽木3本 (供試木 K_1, K_2, K_3) と北海道大学桧山地方演習林に植栽されていた13年生ドロノキ1本 (供試木 H_4) を供試木とした。栗山の K_1 (Photo 2), K_2 (Photo 3), K_3 の供試木は1983年12月に，桧山の H_4 (Photo 6, 7) の供試木は1984年9月に採取した。供試木の概要は Table 1 のとおりである。

これらの4本の供試木は以下に述べる名称により観察・測定に供されたが，結晶のX線成

Table 1. Description of sample trees

Sample trees (No.)	Origin	D. B. H. (cm)	D. H. (cm)	Height (m)	Age (year)
K_1	Kuriyama	25	13	22	20
K_2	〃	23	14	23	20
K_3	〃	13	8	19	20
H_4	Hiyama	15	7	10	13

D. B. H.: Diameter at breast height.
D. H.: Diameter of heartwood at breast height.

分分析，X線回折測定は主に K_1, K_2, K_3 を用いた。

2.2 含水率

ドロノキは典型的な多湿心材で K_1, K_2, K_3, H_4 の各地上高における含水率の平均値を Table 2 に示した。

Table 2. Moisture content within a tree (Unit: %)

Sample trees (No.)	Sample	Height (above ground/m) 0.3	2.3	4.3	6.3	8.3	10.3	12.3	14.3	16.3	18.3	Average
K_1	S	151	164	167	149	121	132	118	114	104	113	135
	H	237	240	196	202	206	198	—	—	—	—	217
K_2	S	162	143	140	141	129	116	102	106	118	120	129
	H	238	215	227	223	222	219	143	—	—	—	222
K_3	S	147	160	152	135	137	138	118	97	—	—	140
	H	230	226	206	204	196	—	—	—	—	—	219
H_4	S	95	103	—	—	—	—	—	—	—	—	99
	H	201	203	—	—	—	—	—	—	—	—	202

S: Sapwood H: Heartwood

Table 2 のように各供試木の地上高による含水率は辺心材とも 0.3 m から 4.3 m までは増減があるが，4.3 m からは地上高が高いほど辺心材の含水率が減少する傾向があった。また栗山の K_1, K_2, K_3 の平均含水率は辺材 129～140% であり，心材は 217～222% である。また 0.3 m と 2.3 m の平均含水率は辺材 155%，心材 231% であり，心材/辺材は 1.49 である。一方桧山の H_4 の 0.3 m と 2.3 m の平均含水率は辺材 99% であり，心材は 202% で，心材/辺材は 2.04 であった。栗山の供試木の含水率は桧山の供試木より高い傾向があったが，心材/辺材は桧山産より小さかった。

3. 実験方法

3.1 肉眼観察及び軟X線透視

各供試木から採取されたこれらの一連の円板から各地上高別に円板直径 (長さ)×5 cm (幅)×5 mm (厚さ) の横断面の試料 (Photos 4, 5) を採取し，また胸高部位から 5 cm (横)×10 cm (縦)×5 mm (厚さ) の板目面，柾目面の試料を凍結状態で鋸断した。肉眼および実体顕微鏡の観察，光学顕微鏡試料製作や写真撮影に供した。その後気乾状態でX線撮影を行った。撮影には当木材理学講座の軟X線装置 (Softex IE 型) を使用した。撮影条件はX線源から試料までの距離 100 cm，管電圧 15 kV，管電流 5 mA，照射時間 2 min である。他にソフテックス(株)映像研究所に試料を持ち込み，TV カメラモニターシステムによる観察 (Softex TV-Pb0-1 システム)，小焦点による微細撮影も行った (Softex CMB-2 型，距離 60 cm，管電圧 17 kV，管電流 3 mA，照射時間 3 min)。

3.2 走査電子顕微鏡 (SEM) 観察

各供試木の地上高1.3 mあるいは2.3 mから6 mm (横)×6 mm (縦)×1 mm (厚さ) の試料を髄から樹皮まで柾目面，板目面，横断面で採取した。このような試料は目的によって 1) 室内乾燥，2) 水洗，アルコール脱水，酢酸イソアミル，臨界点乾燥，3) 50% の酢酸に2～3時間浸漬，水洗後，室内で乾燥等をして炭素と金の2重蒸着を行った。観察は当木材理学教室設置のSEM (JSM-35 CF II) により，加速電圧15 kVで観察した。

3.3 X線による微小部元素分析

試料は室内乾燥，炭素蒸着をして，日本電子(株)研究所でSEM (JSM-35 CF III) 付属の特性X線分光器でエネルギ分散法 (EDS) 及び波長分散法 (WDS) によって点分析，面分析，結晶の元素組成，これらの分布等を調べた。

3.4 化学薬品による成分分析

EDSにより材及び樹皮の中に存在する結晶の主成分は後述のようにカルシウムであることがわかったが，これがシュウ酸カルシウムであるか，炭酸カルシウムであるかを確認するために，結晶を酢酸処理した後SEMを用いてこれらの変化を確認した。

3.5 結晶のX線回折測定

栗山の20年生の髄に近い心材の縦断面の道管の中に結晶が多数ある6 mm (横)×6 mm (縦)×1 mm (厚さ) 試料を炭素蒸着してSEMで確認してから日本電子(株)に依頼して行った。50 μm径のコリメータを用いて，微小領域X線回折装置 (JDX-MAP 1) の管電圧40 kV，管電流150 mA，照射時間1800秒，3600秒である。

4. 結　　果

4.1 材の中にある結晶について

4.1.1 結晶の出現及び分布

結晶の集積は肉眼で注意して見ると横断面では白い点 (Photo 9)，縦断面では白い線 (Photo 13) として確認できる。

このような結晶の，横断面の軟X線の密度による判別では，どの供試木のどの地上高でも辺材にはなく，心材の中に，しかも一部の年輪に沿ってあるいは着色されたむらに沿って黒い点として局所に集中して，さらに髄に近いほど多い傾向があった (Photos 17-22)。また1つの年輪の中では晩材より早材に多い傾向があった (Photos 11, 12, 16-22)。Photos 15, 16は辺心材の柾目面でこれらも辺材には結晶がなく (Photo 15)，心材には黒い点あるいは細い線として認められた (Photo 16)。これらの縦断面の線 (Photos 14, 16) は数mmから数cm以上の長さにわたった。

SEM観察によれば軟X線の写真に現われた結晶は細胞内腔にそれが多数ある部分である。結晶は材の全種類の細胞 (道管，繊維状仮道管，放射組織，柔細胞等) の中に認められた。

大部分の結晶は心材のかなりの道管及び一部の繊維状仮道管に存在した。辺材の結晶は低倍率ではほとんど見えなく，あっても Photos 50–55 のように1つあるいは数個がまばらに存在した。

心材の結晶は細胞の内壁に散在，固まり，集まり，またはこれらの集まりが細胞の内壁に1つの層あるいは細胞の内壁に多数集まっている等で多様であった。軟X線の横断面の写真では結晶の集まりが細胞の内壁に1つの層あるいは多数集まっているのが，小さいリング状あるいは黒い点として現われ，それらは主に道管と繊維状仮道管の中に髄に近いほど多く分布する傾向があった (Photos 17–22)。また縦断面の軟X線写真で黒い線として見えるのは，主に連結した道管要素中に結晶がつづいてたくさんあるものである。

心材の一部に見られた休眠芽 (潜伏芽) の1次維管束柔細胞の中にも，一部かなりの結晶が認められた。一方心材の一部の道管には典型的なチロースが見え，このような道管のチロース壁上には結晶がほとんど認められなかった。

4.1.2 結晶の形及び大きさ

結晶の形はおおむね幾何学的な不定形状で散在または集晶になっており，また方形，ダイヤモンド形，砂晶，金平糖状の集晶，柱晶，針晶，束晶等も存在した。それらの大きさは1 μm 以下から数 10 μm で多様であった。

辺材ではおよそ数 μm から数 10 μm のおおむね幾何学的な不定形状で，これらはまばらに1つあるいは固まりになっていた (Photos 50–54)。またまれに金平糖状の集晶 (Photo 55) 及び柱晶も認められた。これらの結晶の出現頻度は1% 未満である。

心材の結晶の形及び大きさは多様であり，その中の砂晶は1 μm から3 μm ほどの細かい結晶 (Photos 26–31) でこれらは細胞の内壁にちらばってあるいは固まりの集晶になっている。

大きさが数 μm から数 10 μm のおおむね幾何学的な不定形状 (Photos 23–25, 32–43) である結晶の出現頻度はおよそ 70～80% 以上であり，これらは散在または集晶になっている。Photos 24, 25 の集晶はステレオ写真で示した。休眠芽の組織の柔細胞 (Photos 44–49) を含む全種類の細胞の一部にはこれらの集晶が認められた。集晶の中には細胞の内壁の全面に1つの層または内壁に多数集まっているものもあった (Photos 38–43)。一部の道管あるいは繊維状仮道管の内壁に1つの層または多数集まっているのはほとんどこれらの結晶である。またこれらの集晶は砂晶とともにまじっているものがかなり認められた。以上の心材の砂晶と集晶は材の中にある結晶全体の量のほとんどである。一方まれには放射組織の中に針晶及び休眠芽の組織の柔細胞等で金平糖状の集晶 (Photos 64, 65) も認められた。

4.1.3 結晶の構造

SEM の2次電子像で形態的に結晶として認められたものが，その内部に規則的配列を持っているかどうかを確認するために X 線回折測定を行った。道管の中に結晶が多数集まってい

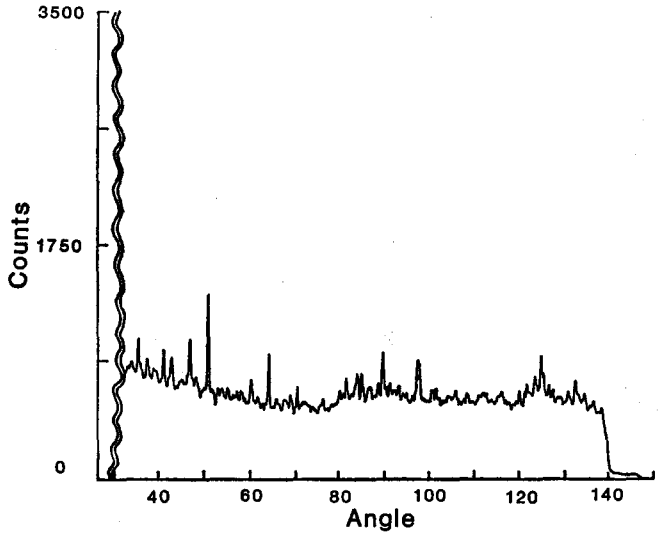


Fig. 1. Diffraction angle of crystals in the heartwood of *Populus maximowiczii* ($2\theta°$).

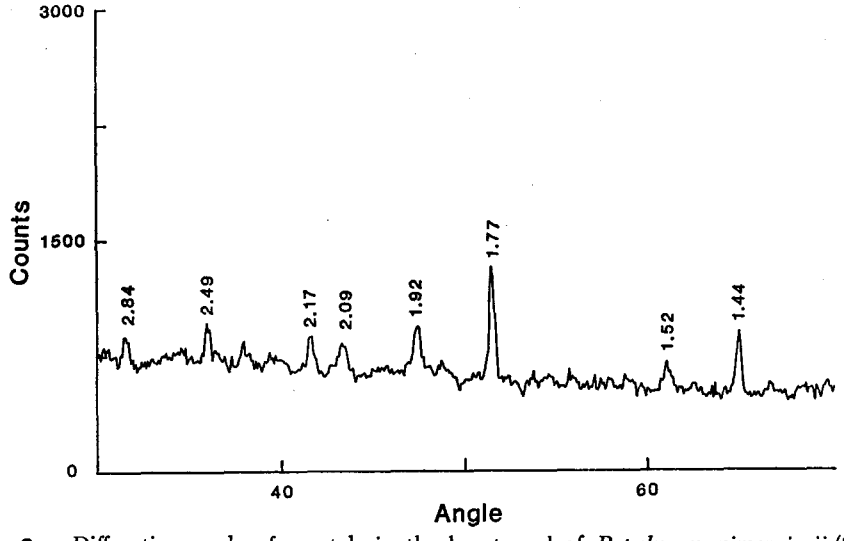


Fig. 2. Diffraction angle of crystals in the heartwood of *Populus maximowiczii* ($2\theta°$).

る部分をあてて得られた全角度測定データを Fig. 1 に示す。

試料は 6 mm (横)×6 mm (縦)×1 mm (厚さ) の材片である。その材片の表面に見える道管内腔 (直径：約 100 μm，長さ：6 mm) に多数ある結晶の測定で，試料の厚さが 1 mm であることによって，結晶の密度が小さく，そのため試料内部をつき抜けて散乱する回折線も存在していると考えられる。

Fig. 2 及び Fig. 3 は Fig 1 の細部を分かりやすくするために 2θ 角度を拡大して記録したもので確実に回折ピークと判断されるものに α-値 (Å) を記入したものである。

Fig. 4 は同上の試料で結晶があまりない部分を同一測定条件 (測定時間のみが 3600 秒から

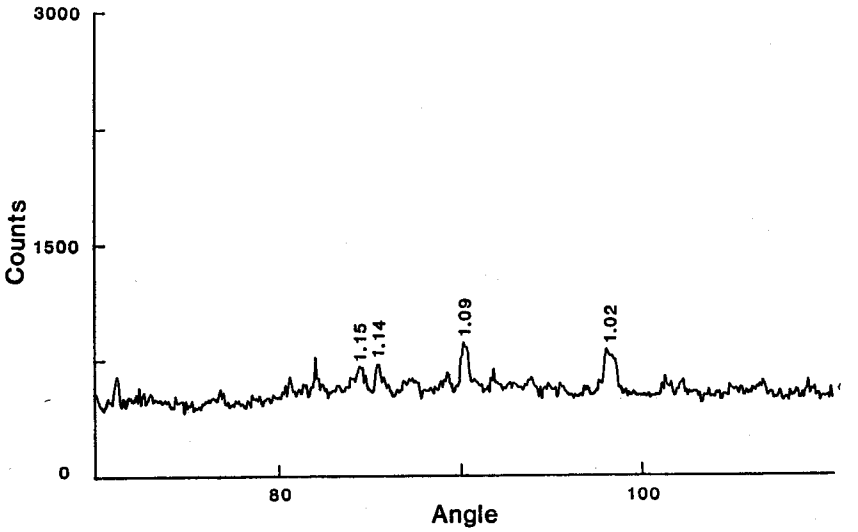


Fig. 3. Diffraction angle of crystals in the heartwood of *Populus maximowiczii* ($2\theta°$).

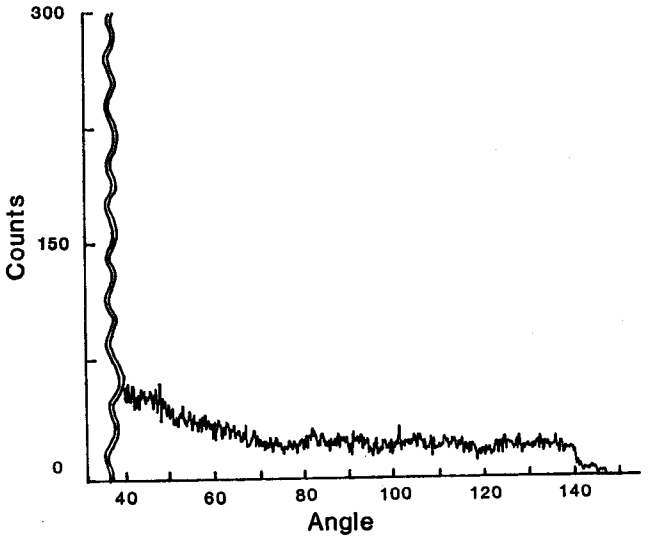


Fig. 4. Diffraction angle of the heartwood of *Populus maximowiczii* ($2\theta°$).

1800秒に異なる) で回折したものである。これで, 回折ピークがそれほどないのが認められた。

Fig. 5 は Fig. 4 と同一測定条件で一応基準物質として, シリコン粉末を用い。測定量は数10 μg 程度の微少量をガラス細棒の上に接着剤で固定して測定したものである。低角度のバックグラウンドはガラスから散乱線が入ったものと考えられる。

これらのX線回折測定からドロノキ結晶は確実な結晶構造を持っていることが認められた。しかしながらドロノキの材の中にある結晶は Fig. 4 に比べると, 道管の中にいっぱいある結晶のピークがあまり高くなく, その反面結晶があまりないところもでこぼこになっていた。

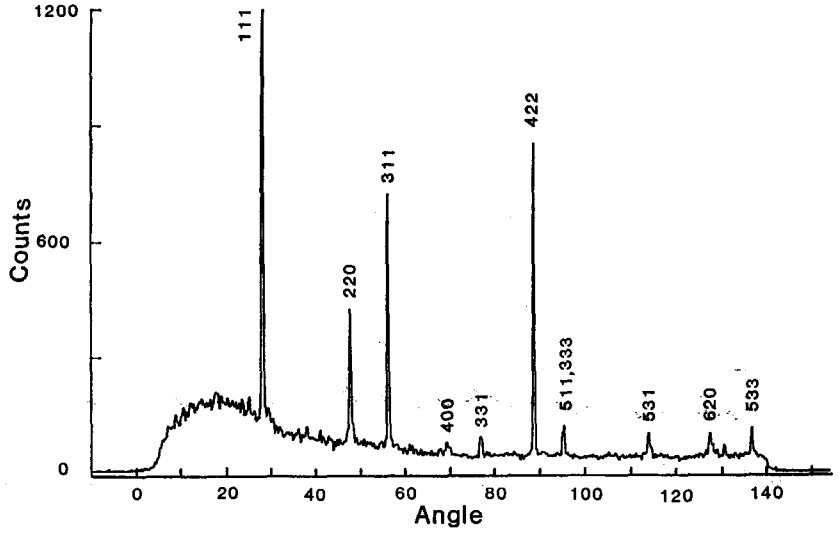


Fig. 5. Diffraction angle of the silicon meals ($2\theta°$).

これらは試料の材片の中に結晶が散在しているためと思われる。結晶構造の詳しい解析は今後の問題にしたい。

4.1.4 結晶の成分

エネルギー分散型X線分析 (EDS) により特定の結晶あるいはこれらの集合についての点分析を行った結果，結晶の主成分はカルシウム (Ca) であり，また時々わずかにマグネシウム (Mg)，カリウム (K)，ケイソ (Si)，リン (P) 等が検出された (Fig. 6)。

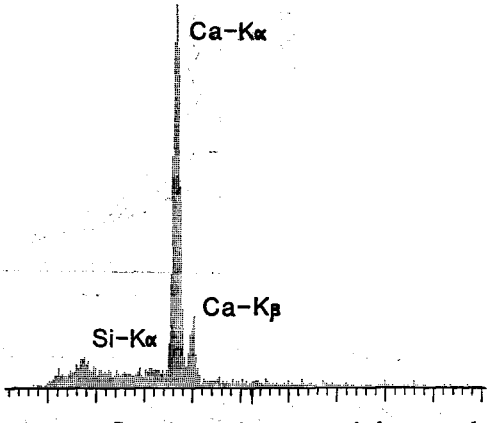


Fig. 6. Constituent in a part of the crystal (photo 56) on the innersurface of a heartwood vessel element.

Photo 56 は結晶が多数ある縦断面の反射電子像である。この試料について WDS を用いて面分析を行った結果，Ca の分布 (Photo 57) は結晶分布に対応し，また O (Photo 58)，C (Photo 59) も結晶付近でいくらかバックグラウンドより多いことが認められた。

ポプラ類の材の中にある Ca は炭酸カルシウム ($CaCO_3$) であるという報告[3,4] とシュウ酸カルシウム (C_2O_4Ca) であるという報告[6] がある。炭酸カルシウムは酢酸に溶けるが，シュウ酸カルシウムは溶けないことから，このことを確認しようとした[7,8]。結晶が多数ある1つの試料を半分にわけて，無処理と酢酸処理したものを SEM で観察した結果は Photos 60, 61 のとおりである。低倍率で見ると，無処理では Photo 60 のように二，三の道管には結晶がよく見えるが，酢酸処理したものは Photo 61 の

ように結晶がなくなって細胞の内壁が比較的きれいに見えた。しかし酢酸処理したものを倍率をあげて細胞の内壁を観察すると Photos 62, 63 のように沈着物がまだ残っていた。また材の一部の休眠芽組織の柔細胞の中にもかなりの結晶があり，酢酸処理した結果，その中でもまれに金平糖状の集晶は残っていた (Photos 64, 65)。これらのことから材の中にある砂晶及びおおむね幾何学的な不定形状である結晶等の主成分は炭酸カルシウムであり，まれに辺材及び心材の休眠芽組織の柔細胞に存在する金平糖状である集晶の結晶の主成分は，シュウ酸カルシウムであることが確認された。

4.2 樹皮の中にある結晶について

4.2.1 結晶の出現及び分布

反射電子像で結晶の分布がよく現われた。Photo 77 は左側が材であり，右側が樹皮である。樹皮の中にある結晶は内樹皮 (Photo 77) から外樹皮 (Photo 80) まで結晶が比較的散在してあるいは数個が1つの列になっていた。これらの結晶は師部柔細胞ストランドあるいは師部柔細胞に存在した。

4.2.2 結晶の形及び大きさ

樹皮の中に認められる結晶はダイヤモンド形 (Photos 66, 67)，方形 (Photos 68–70) 及び金平糖状の集晶 (Photos 71–76) で，これらの大きさは 10～30 μm ほどであった。

4.2.3 結晶の成分

樹皮の中にある結晶も EDS により点分析した結果，結晶の成分は Ca であり (Fig. 7, 8)，また，WDS を用いて Ca の分布を面分析を行ってそれを確認した (Photo 78)。

Populus euramericana の樹皮の中にある結晶はシュウ酸カルシウムであるという報告がある[9]。結晶を酢酸処理してから SEM で観察した結果は Photos 70, 75, 76 のように結晶が存在したのでシュウ酸カルシウムであると認めた。

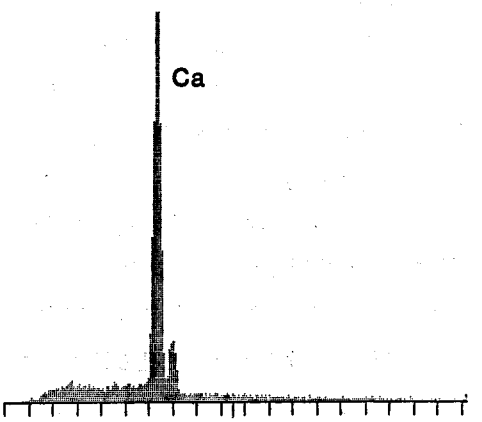


Fig. 7. Constituent in a part of rhomboidal crystal (photo 79) on the innersurface of a phloem parenchyma.

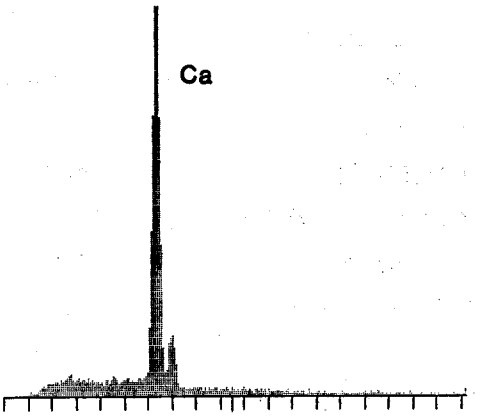


Fig. 8. Constituent in a part of rhomboidal crystal (photo 80) on the innersurface of a phloem parenchyma.

5. 考 察

材の中に認められる砂晶及びおおむね幾何学的に不定形状である結晶は主に炭酸カルシウムであり，樹皮の中に認められる集晶及びダイヤモンド形の結晶は主にシュウ酸カルシウムである。しかしながら材の中にはまれにはシュウ酸カルシウムを含む集晶の結晶も存在した。

材の中にある結晶は主に心材の中に一部の年輪に沿ってあるいは着色されたむらに沿って，または局所に集中して髄に近いほど，また1つの年輪の中では晩材より早材に多い傾向があった。樹皮の中にある結晶は内樹皮から外樹皮まで比較的散在して存在した。

以上のことから樹木の生きている細胞に形成される結晶は主にシュウ酸カルシウムであることが分かった。いわゆる結晶細胞または異形細胞で結晶を含む柔細胞は細胞が生きている間に何らかの機構により結晶を生成したもので，これはシュウ酸カルシウムであることが多い。テキストによると樹木の結晶の成分はシュウ酸カルシウムであるという報告が多い。ドロノキの樹皮の中にある結晶及び材の中にある集晶はこの一般的な結晶にあたるのであろう。MUHAMMAD[6]らが報告した *Fomes igniarius* に冒されたアスペンの被害木の結晶がシュウ酸カルシウムであったことは，著者らが述べているとおり菌に対する樹木の防御機構の1つであると考えると納得できる。

一方主に心材の中に形成される結晶は機能を停止した道管及び繊維状仮道管の中であり，炭酸カルシウムとなった。これは主に物理的，化学的条件が単に結晶の生成に最適であったことを示すと考えられる。材中の無機物及び有機物，結晶の核となる物質の存在，pH等の外的な条件である。これらの条件については今後の問題であるが，ポプラ類の心材における結晶はすべてこの考えの範囲内に入るであろう。ただ，先に述べたように結晶が生長輪に沿って接線方向に並ぶことがあることは結晶の生成が全くランダムに起るのではないことを示している。このことは心材形成にともなう2次代謝に関連があると思われる。

SCURFIELD[10]らは南洋材に多く見られるシリカ化の機構について次のように述べている。シリカ化にはシリカ，酸化鉄の存在と酸性の状態及びある種のポリフェノールの存在が条件となる。このポリフェノールとシリカ水溶液との接触が細胞壁の石化の最初の段階であり，シリカの沈着を促すと報告している。この説にしたがって次のように考えてみた。ドロノキの心材化にあたり，放射組織から生じるポリフェノールのうちカルシウムの沈着，結晶化に都合のよいものがある。これは心材化の過程のうちある時期に多くの放射組織で一斉に生成する(2次代謝のあるプロセス)とも考えられるので，材中では年輪内のある場所に接線方向に存在することになる。このような物質は心材中の放射組織または各要素と放射組織内壁孔の近くに沈着し，結晶化の他の条件が満足されたとき急激に結晶化へ進むのではないかと考えられる。このような結晶化は前述した結晶の中でも道管要素内に多数つまっているものであることもこの推測の一つの裏づけとなろう。

JANIN[4] らはポプラの結晶は炭酸カルシウムで，これは正常な生理的な過程から起こり，不正常な現象ではないと報告している。

文　献

1) 千葉　茂: 林木の育種, No. **130**, 22–24 (1984).
2) 千葉　茂: 王子林木育種研・研究報告, No. **3**, 1–14 (1976).
3) JANIN G. et CLÉMENT A.: Ann. Sci. forest, **29**(1), 67–105 (1972).
4) CLÉMENT A. et JANIN G.: Ann. Sci. forest, **30**(1), 63–81 (1973).
5) 島地　謙, 須藤彰司, 原田　浩: "木材の組織", 森北出版, p. 166, 175 (1976).
6) MUHAMMAD, A. F. and MICKO, M. M.: IAWA Bulletin, n. s., **5**(3), 237–241 (1984).
7) 化学大辞典編集委: "化学大辞典", 共立出版, **4** 巻, p. 635, **5** 巻, p. 722 (1983).
8) 日本化学会: "化学便覧", 基礎編 1, 丸善, p. 101, 262 (1966).
9) NANKO, H., SAIKI, H. and HARADA, H.: Bulletin of the Kyoto University Forests No. **48**, 167–177 (1976).
10) SCURIFIELD, G., SENGNIT, E. R. and ANDERSON, C. A.: Scanning Electron Microscopy, Part II, 389–396 (1974).

Summary

The heartwood of the Japanese poplar (*Populus maximowiczii* HENRY) occupies a wide range in the cross section of the tree, and is brownish gray in colour, locally with dark stain and is called wetwood due to the high moisture content. Crystals were clearly indicated on the soft X-ray photographs because of its higher density than the wood. They gather locally and line tangentially only in the wetwood. According to the SEM observation they form what is called large "druss" and range in size from a large collection filling up in the cell lumen to a small deposit on cell inner surface. Only massive ones in the cell lumen were detected on the soft X-ray. Most of them were observed in the vessel elements, especially locating near vessel-ray pit region. However, they could be hardly observed in the fibers, parenchyma strands and ray parenchymas. Using energy dispersive spectroscopy (EDS) technique these crystals were found to certain mainly calcium, sometimes together with silicon, magnesium and potassium as weak signals. The wavelength dispersive spectroscopy (WDS) technique suggested carbon and oxygen participate in the crystals from the method of X-ray mapping. By the solubility examined in acetic acid it was determined that they are mostly composed of calcium carbonate and some in the parenchyma strands and bark are calcium oxalate. JANIN and CLEMENT (1972) investigated crystals in the wood of genus Populus, and reported that they are present in all species of the section *Aigeiros* and *Tacamahaca* and their crystals consist of calcium carbonate. They thought crystals in Populus arise from a normal physiological process and not all from defects or other abnormal phenomenon. While, MUHAMMAD and MICKO (1984) reported that calcium oxalate crystals were present in the decayed wood attacked by *Fomes igniarius* and bark of aspen and stated that association of wood rotting fungi seems to be closely related to the accumulation of calcium oxalate crystals.

In the paper, we supposed that calcium oxalate crystals which mostly composed of rhomboid in the phloem and xylem parenchyma would associate with normal physiological process

in living cells. On the other hand, calcium carbonate crystals which mostly composed of "druss" would arise from optimum derivative condition such as mineral solution, pH and some organic substances having function as catalyst of crystalization in dead cells.

Explanation of Photographs

Photo 1. Twenty years and clonal test forest of Japanese poplar of Oji Paper Company at Kuriyama, Hokkaido.

Photos 2, 3. Trunks of sample tree of K_1 (photo 2), and of K_2 (Photo 3).

Photos 4, 5. Serial cross sections of sample tree of K_1 (photo 4), and of K_2 (photo 5).

Photo 6. Thirteen years old sample tree of H_4 planted at the nursery of Hiyama university forest.

Photo 7. Trunk of sample tree of H_4.

Photo 8. A cross section at 1.3 m height level of sample tree of H_4.

Photo 9. A cross section at 2.3 m height level of K_1 tree. Large mass of crystals in vessel elements are able to be distinguished visually as white spots.

Photo 10. A soft X-ray photograph of the same cross section in 5 mm thick as photo 9. Dark crystals spots in this photo 10 coincide in places with the white spots of photo 9.

Photo 11. Enlarged soft X-ray photograph of 5 mm cross section of sapwood.

Photo 12. Enlarged soft X-ray photograph of 5 mm cross section of heartwood. Crystlas gather locally and line tangentially in earlywood.

Photo 13. A longitudinal section of heartwood in sample K_3 at 1.3 m height level. Crystals in vessel elements are occationally large enough to distinguish visually as white line.

Photo 14. A soft X-ray photograph of the same section as the above. Crystals filling up in the vessel element are continuous longitudinally.

Photo 15. A soft X-ray photograph of radial section of sapwood.

Photo 16. A soft X-ray photograph of radial section of heartwood.

Photos 17-22. Soft X-ray photographs of sample K_2 at different height levels. Take note of abundance of crystals near the pith and at the lower height levels.

Photo 23. Large "druse" crystals filling up in a vessel element of heartwood.

Photos 24-25. A pair of stereograph composed of the two photographs.

Photos 26-31. Fine "crystal sand" in 1-3 μm size on the inner surface of vessel elements of heartwood. Photos 28-29, are magnification of photo 27 and photo 31 is a magnification of photo 30.

Photos 32-37. Clusters of irregular shaped crystals in the vessel elements of heartwood. Photo 33 is a magnification a part of photo 32. Photos 34, 35 are distinct mass of such kind of crystals. Photo 37 is partical magnification of ray parenchyma of photo 36. Photo 37 is the crystals cluster in a ray parenchyma.

Photos 38-43. Massive crystals in the vessel elements of heartwood. Photo 40, 41 are partical magnification of photo 38.

Photos 44-49. Crystals and deposits in the vascular bundle parenchyma cells of dormant bud.

Photos 50-52. Crystals of rare existence in a fiber tracheid in the sapwood. Photo 51 is partical magnification of photo 50.

Photos 53-54. Crystalloid substance of rare existence in a vessel element of the sapwood.

Photo 55. A druse of crystals of rare existence in a vessel of the sapwood.

Photo 56. Backscattered electron image of massive crystals in vessel elements and fiber tracheids of the heartwood.

Photo 57. X-ray mapping of Ca by the method of wavelengh dispersive spectroscopy (WDS) corresponding in place to the above sample.

Photo 58. X-ray mapping of O by WDS in the above sample.

Photo 59. X-ray mapping of C by WDS in the above sample.

Photos 60, 61. Splited heartwood sample in two; the one is ordinal crystal-full (photo 60) and the other is crystal dissolution with treatment of acetic acid (photo 62).

Photos 62, 63. Partial magnification of photo 61, in which some deposits remained after acetic acid treatment.

Photos 64, 65. Remained druses crystal in vascular bundle parenchyma cells of dormant bud in the heartwood after acetic acid treatment. Photo 65 is magnification of druses crystal in a parenchyma of photo 64.

Photos 66, 67. Rhomboid crystal in phloem parenchymas. Photo 67 is magnification of rhomboid crystal in a phloem parenchyma of photo 66.

Photos 68-70. Styloid crystals in phloem parenchymas.

Photos 71-74. Druses crystals in phloem parenchymas.

Photos 75, 76. Remained druses crystals in phloem parenchymas after acetic acid treatment.

Photo 77. Backscattered electron image of phloem crystals.

Photo 78. X-ray mapping of Ca by WDS in the same sample.

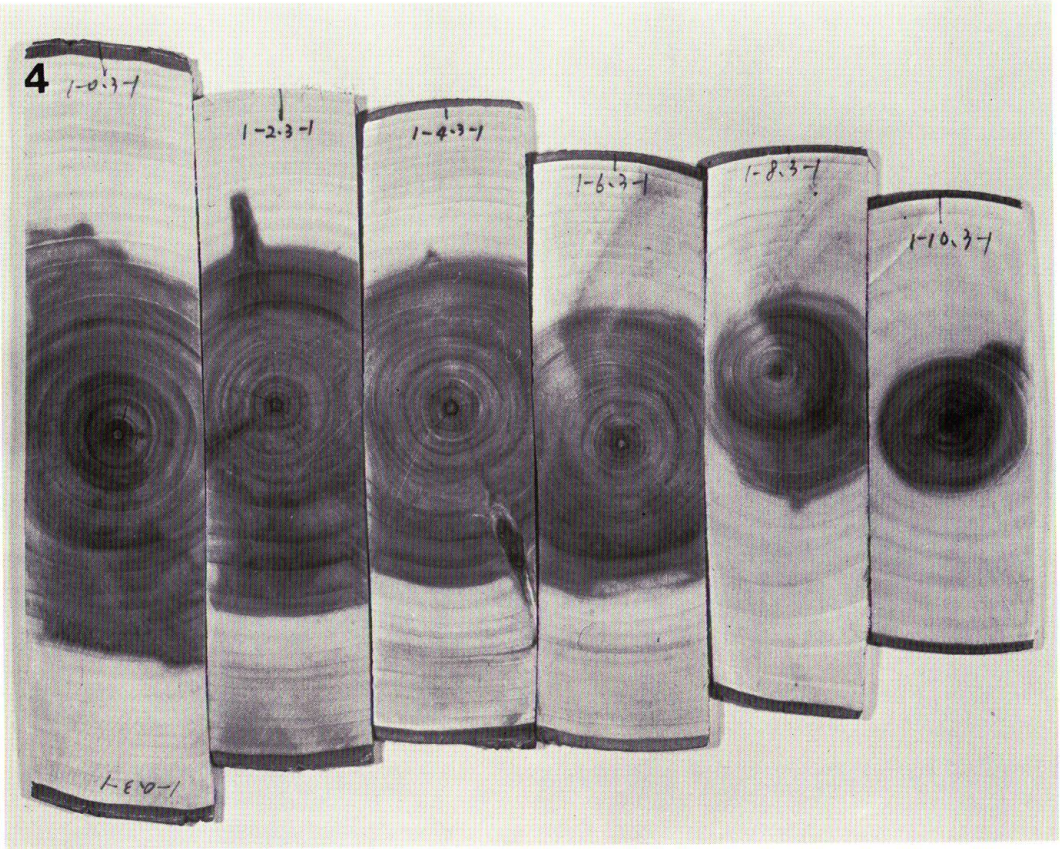
Photo 79. Backscattered electron image of rhomboid crystals in phloem parenchymas.

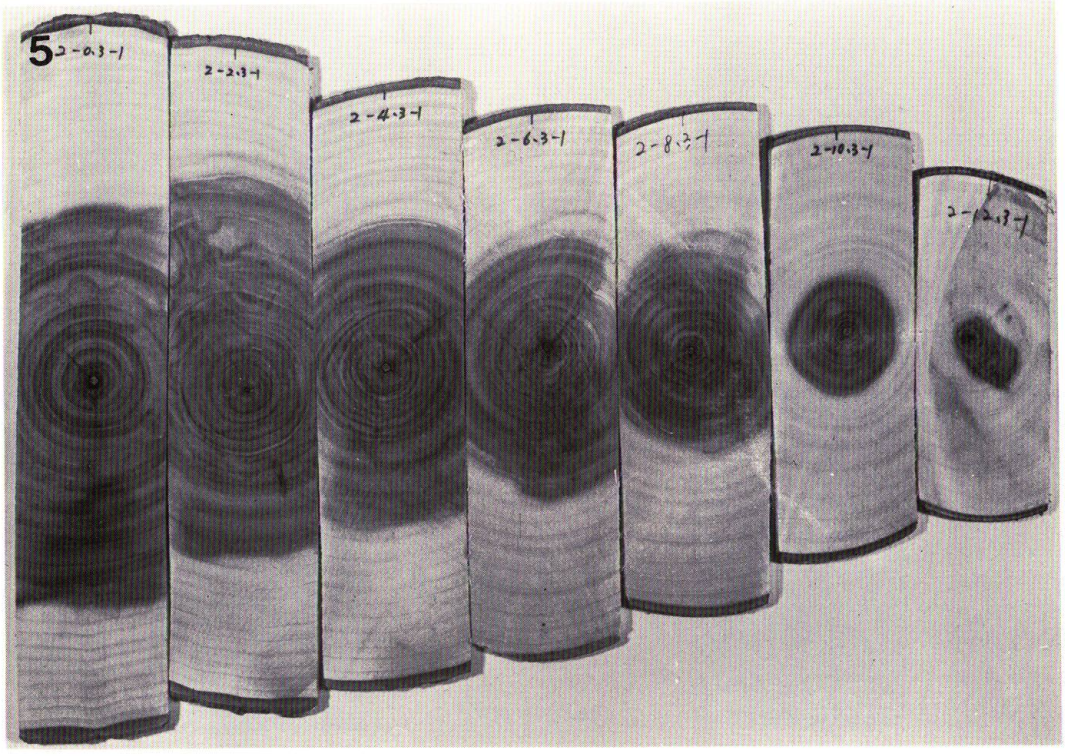
Photo 80. Backscattered electron image of druses crystals in phloem parenchymas.

1

2

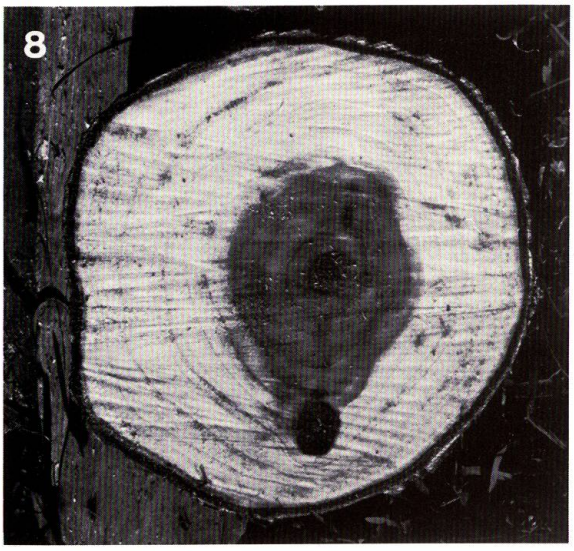
3

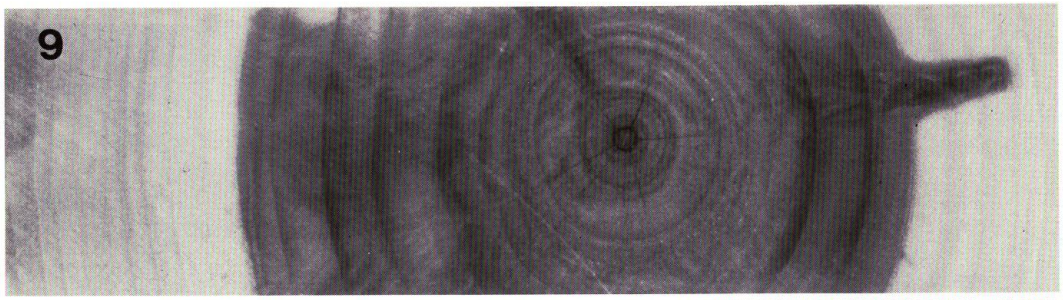

4
1-0.3-1
1-2.3-1
1-4.3-1
1-6.3-1
1-8.3-1
1-10.3-1
1-E0-1

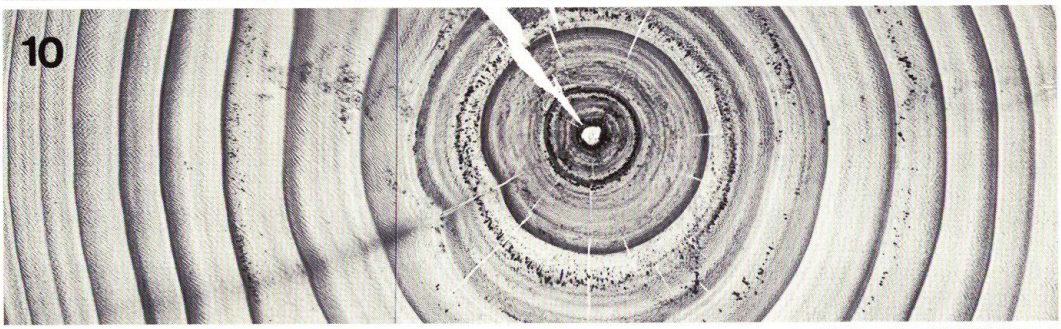

5
2-0.3-1
2-2.3-1
2-4.3-1
2-6.3-1
2-8.3-1
2-10.3-1
2-12.3-1

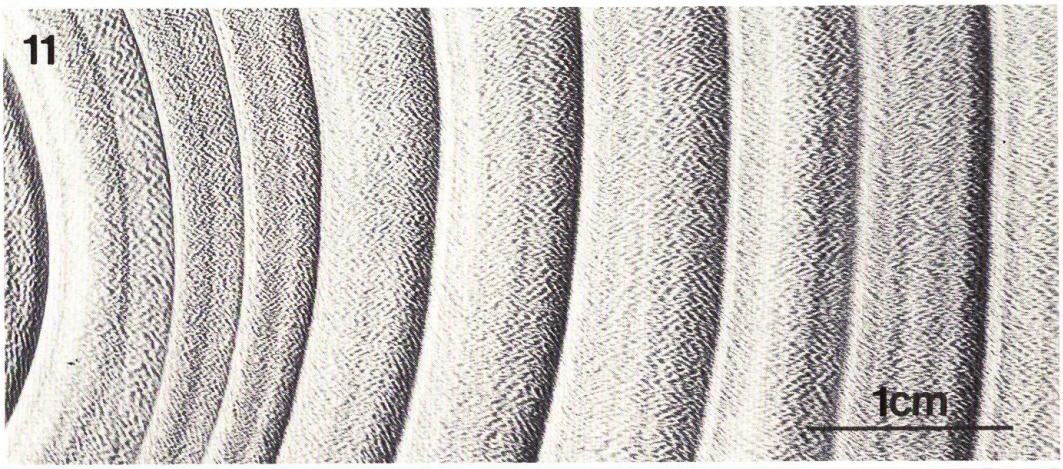
6

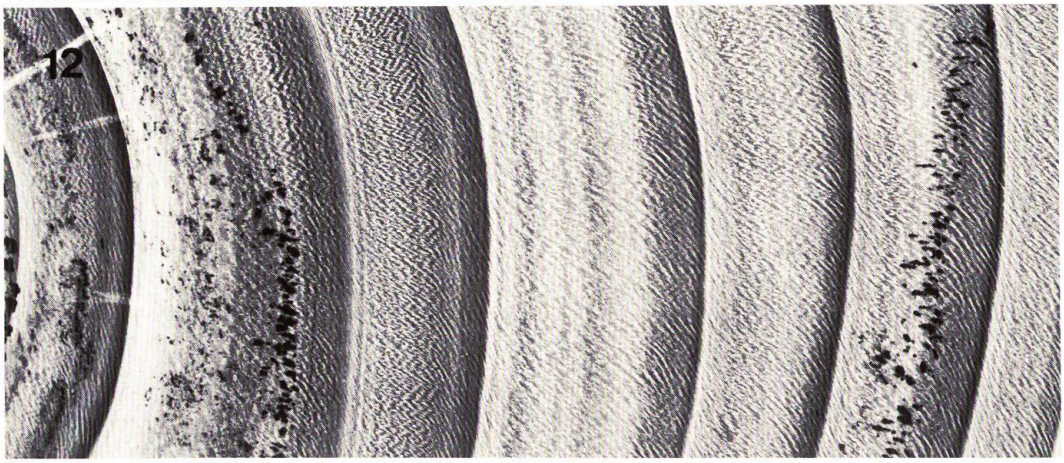
7


8

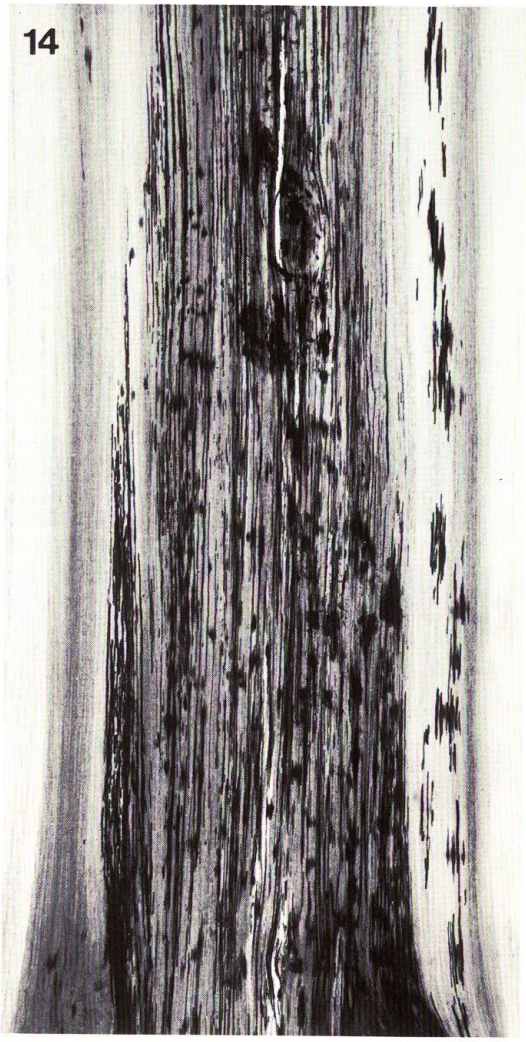

9

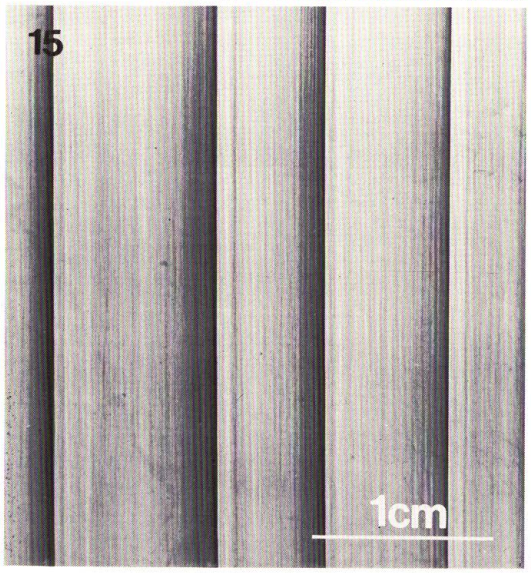

10

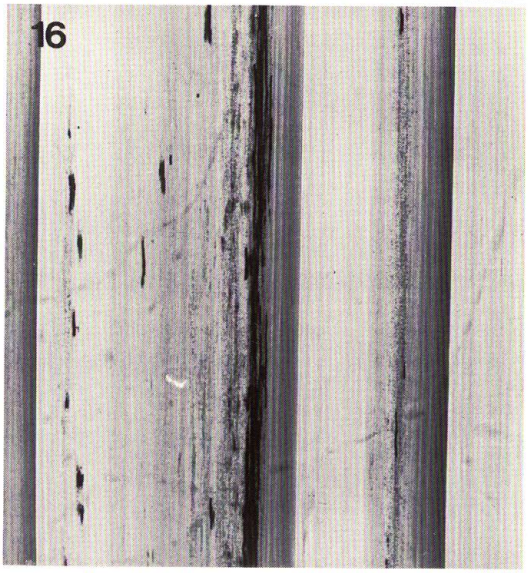

11
1cm

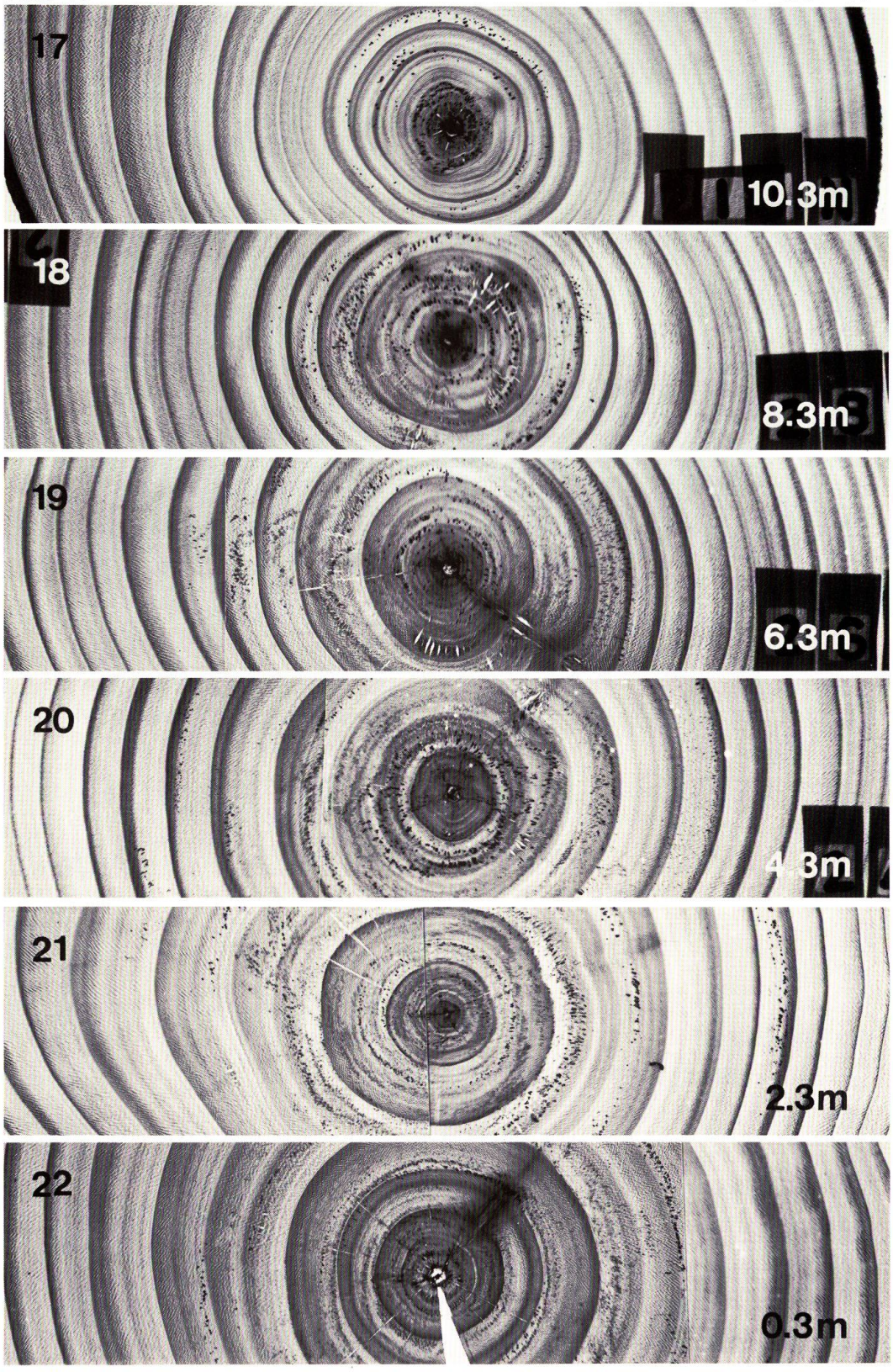

12

13
1cm

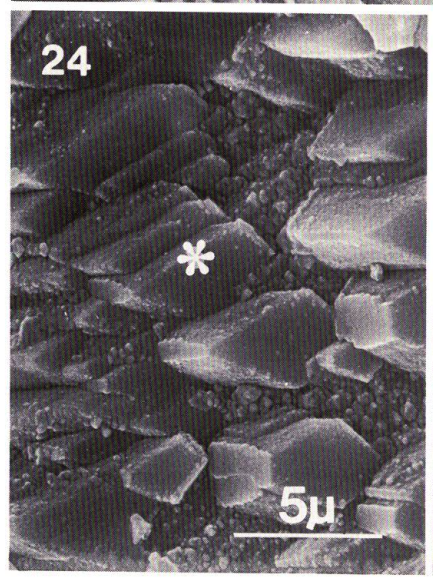

14


15
1cm

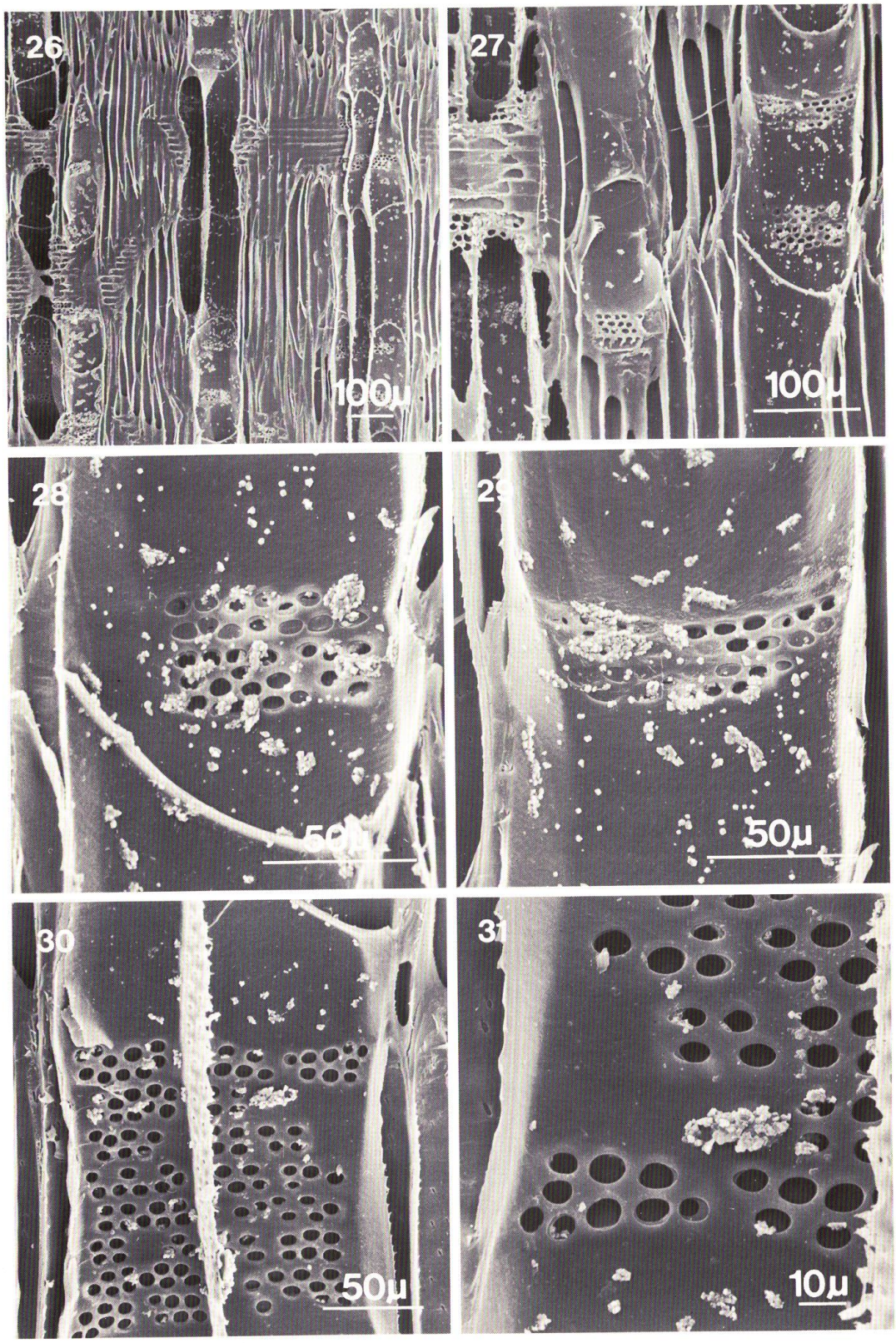

16

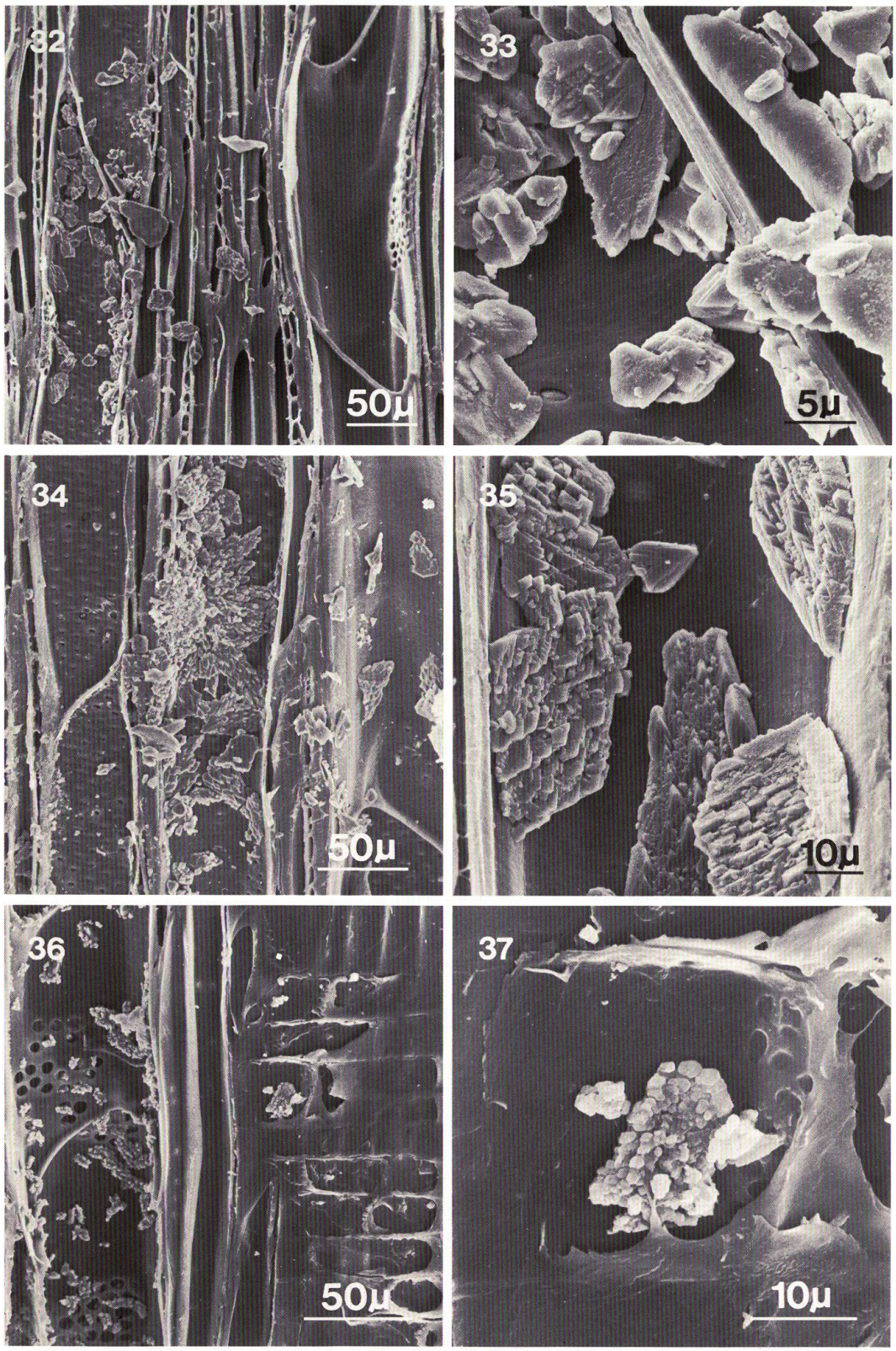

17
10.3m
18
8.3m
19
6.3m
20
3m
21
2.3m
22
0.3m

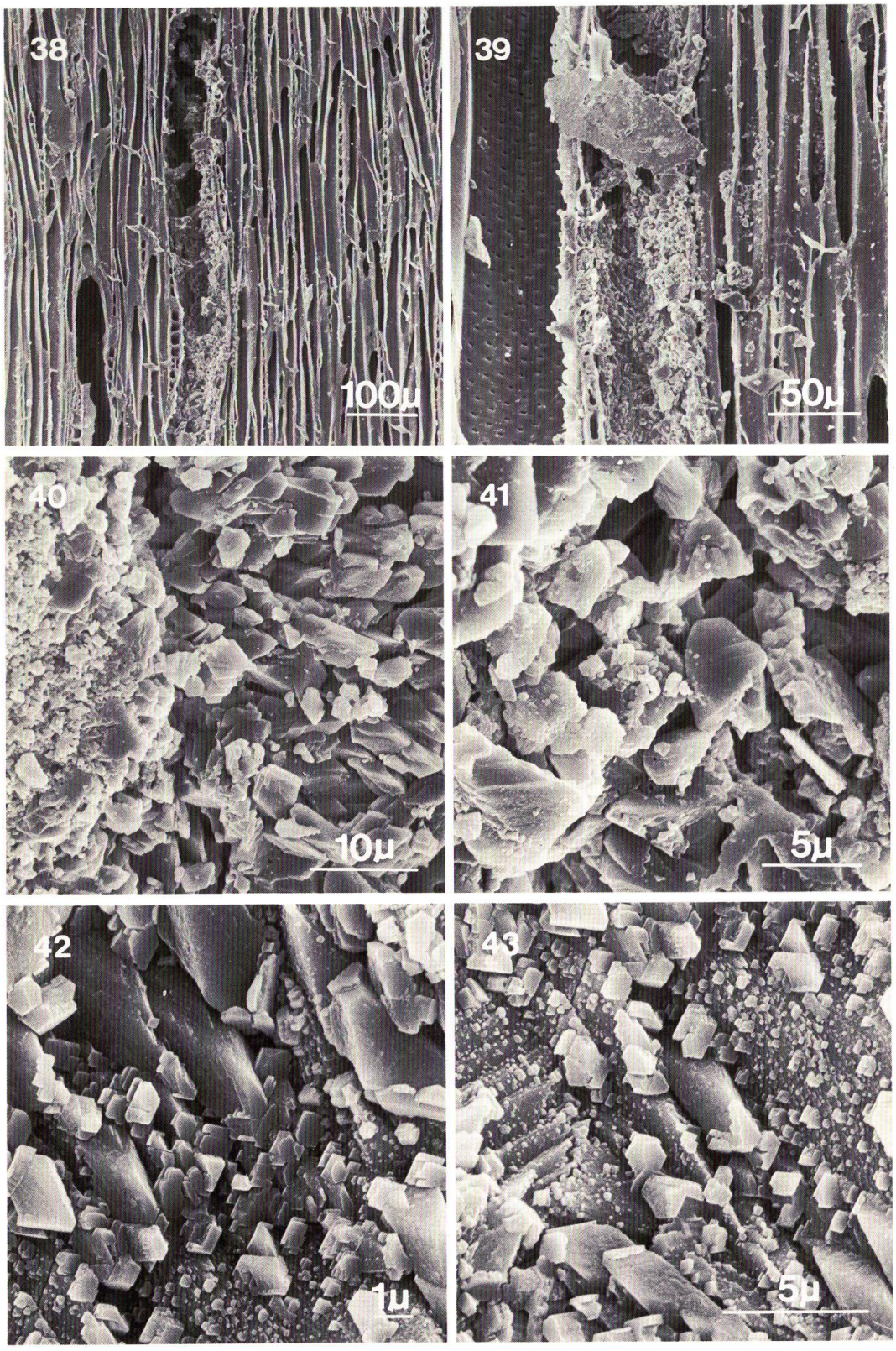
23
5μ

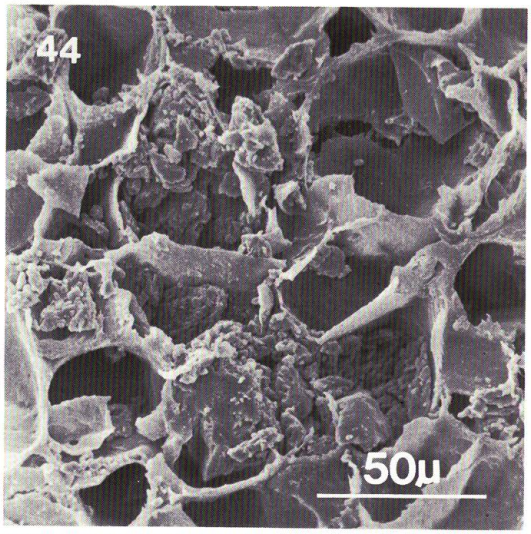

24
5μ

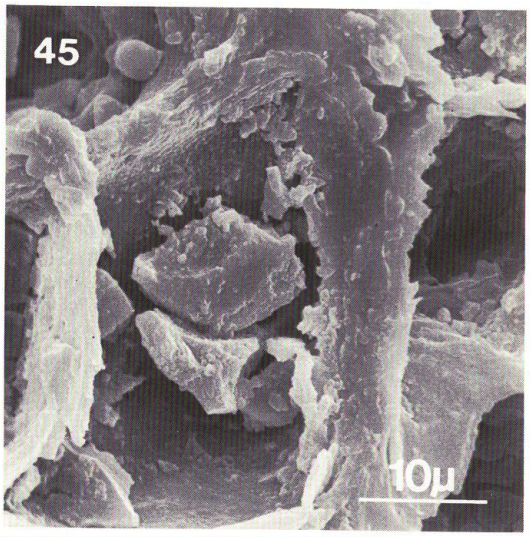
25

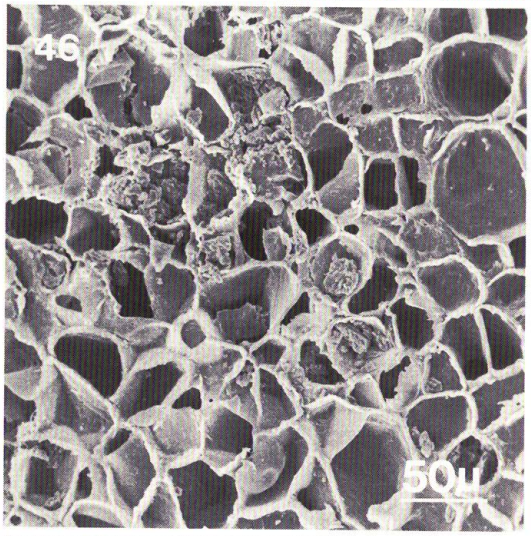

26
100μ
27
100μ
28
50μ
29
50μ
30
50μ
31
10μ

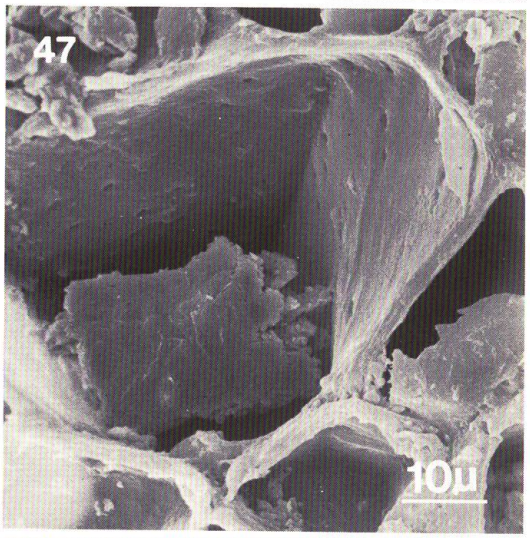

32
50μ
33
5μ
34
50μ
35
10μ
36
50μ
37
10μ

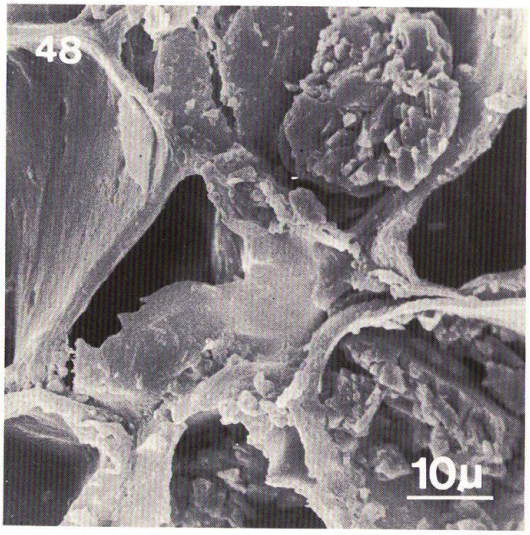

38
100μ
39
50μ
40
10μ
41
5μ
42
1μ
43
5μ

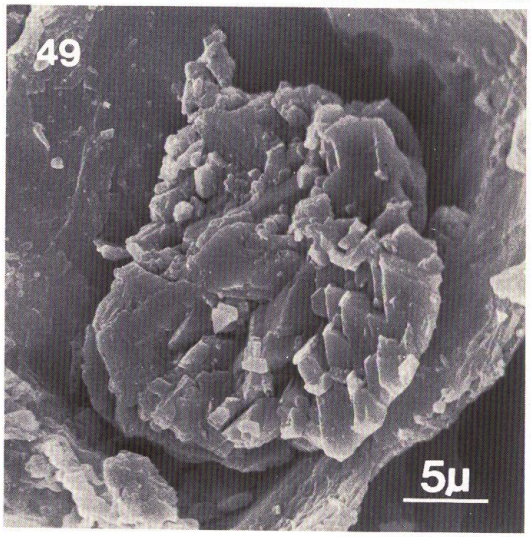

44
50μ

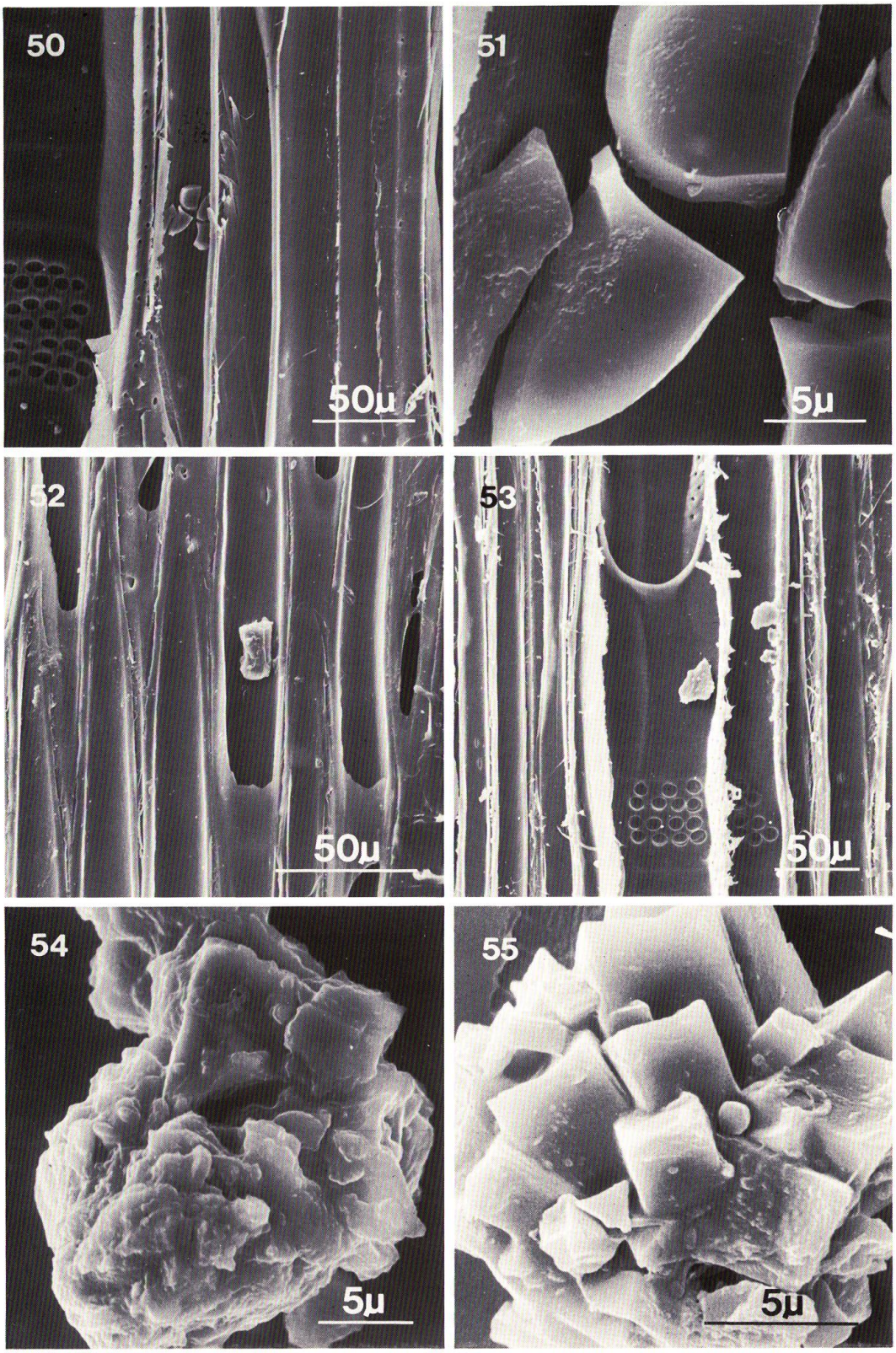

45
10μ


46
50μ


47
10μ

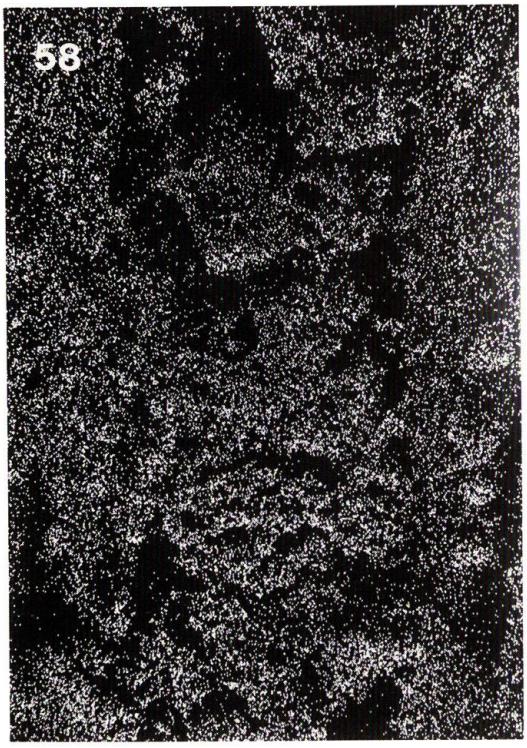

48
10μ

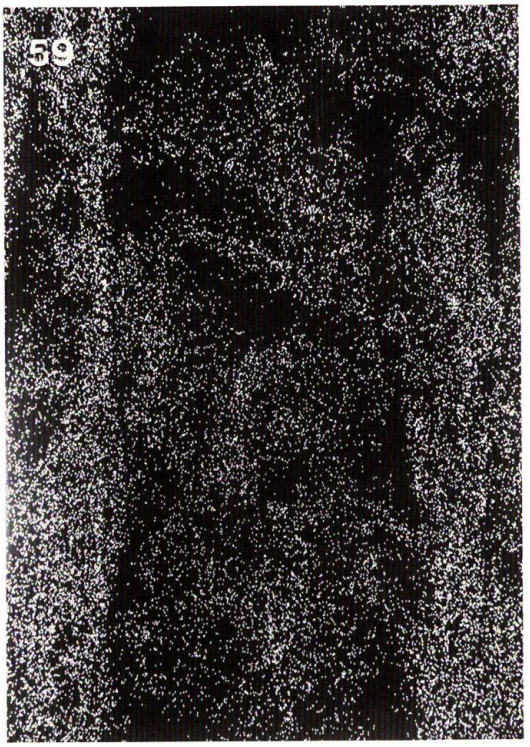

49
5μ


50
50μ
51
5μ
52
50μ
53
50μ
54
5μ
55
5μ

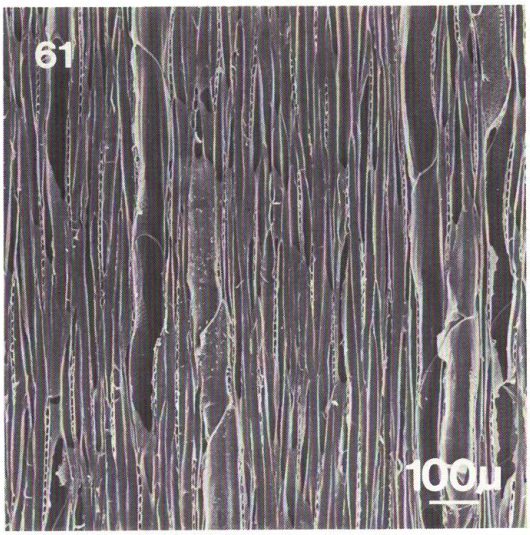
56
5μ

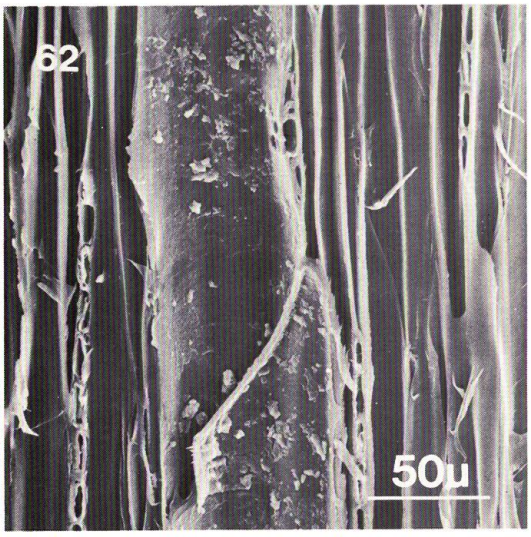
57

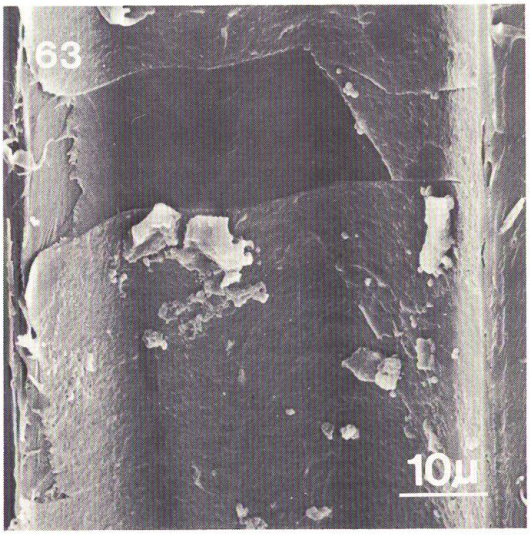

58

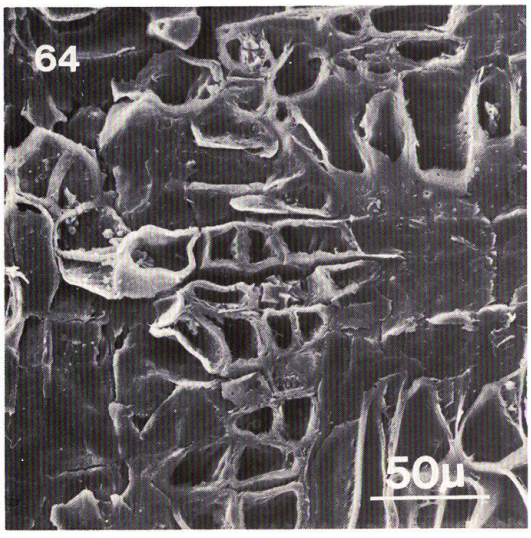

59

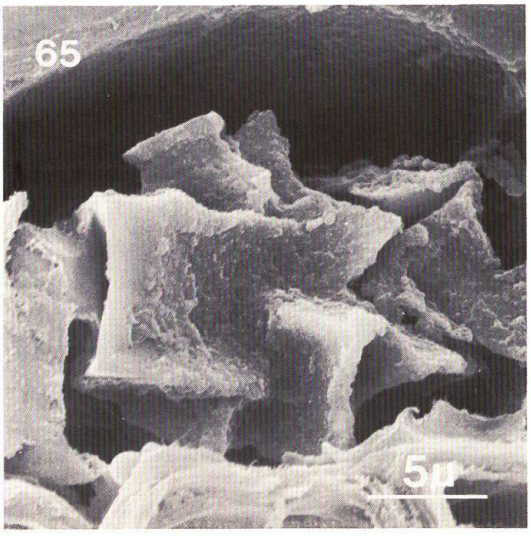
60
100μ

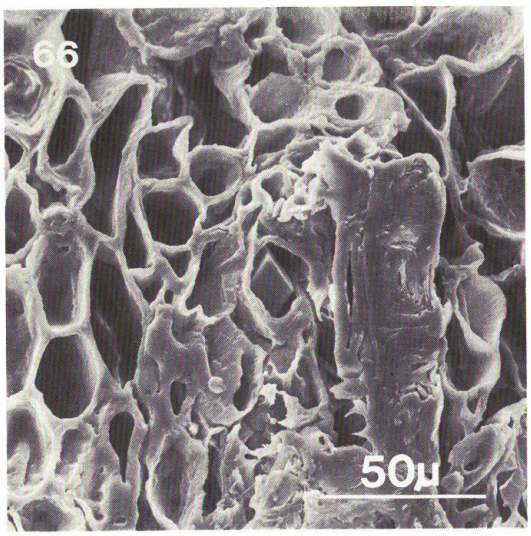

61
100μ

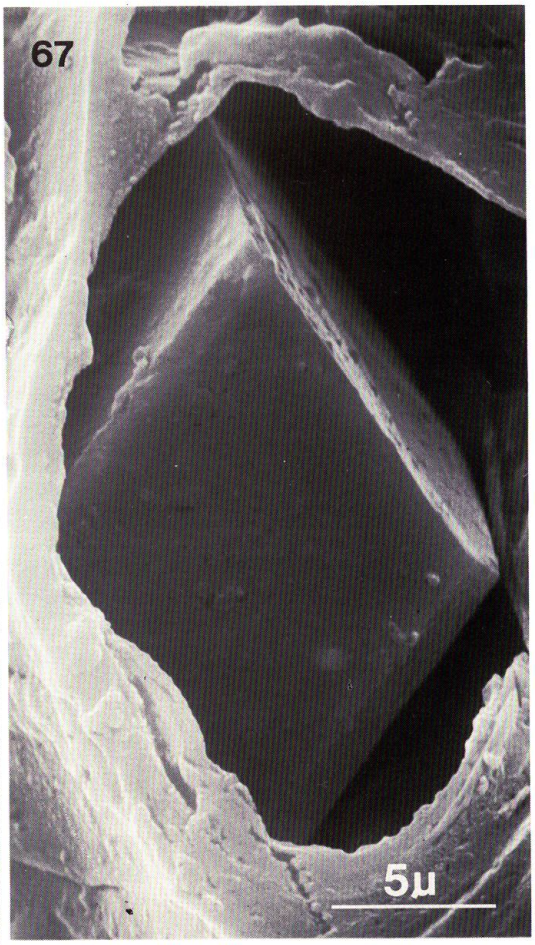

62
50μ

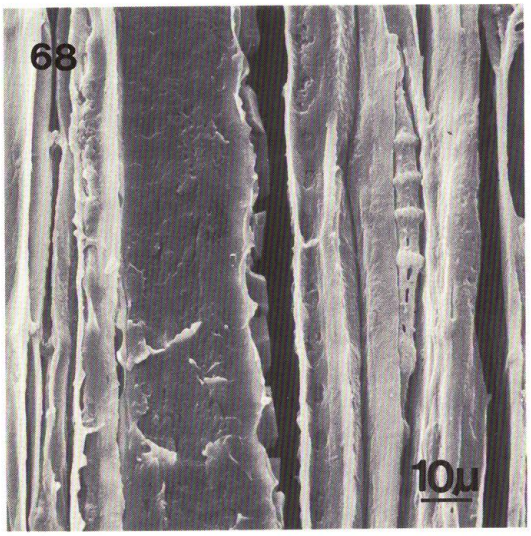

63
10μ

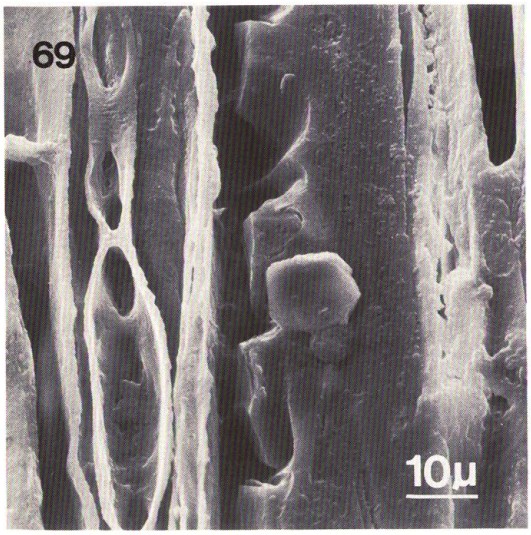

64
50μ


65
5μ

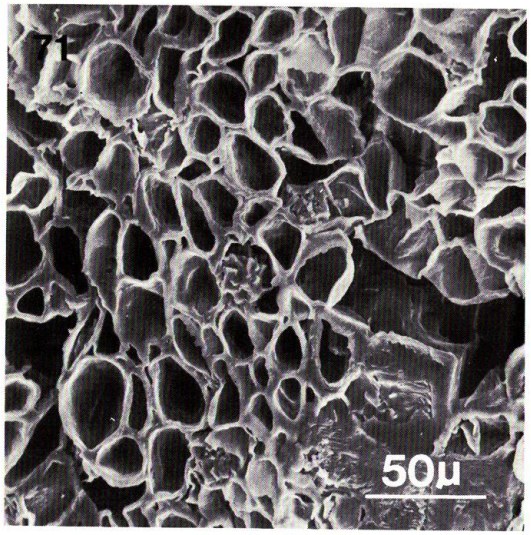

66
50μ

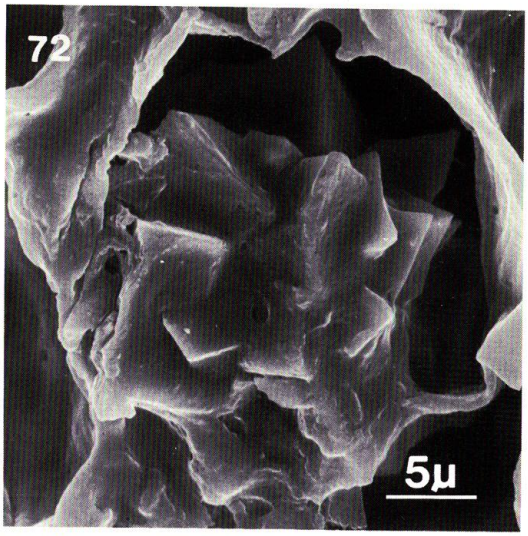

67
5μ


68
10μ

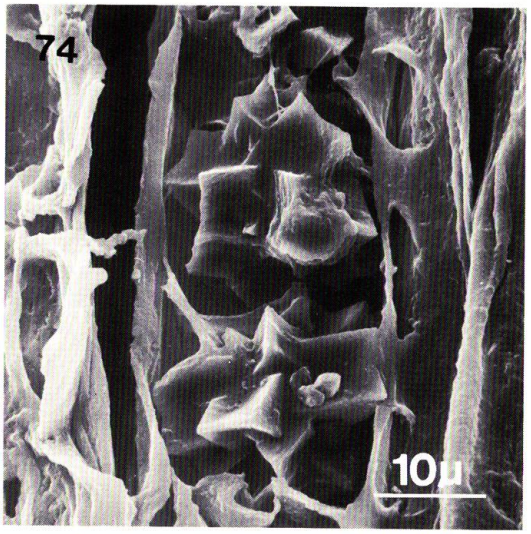

69
10μ

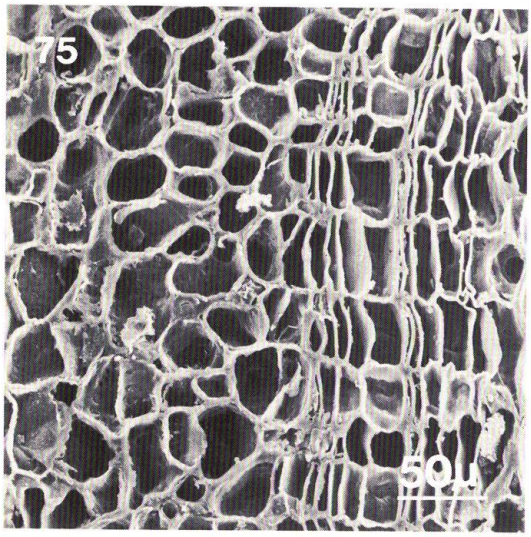
70
5μ

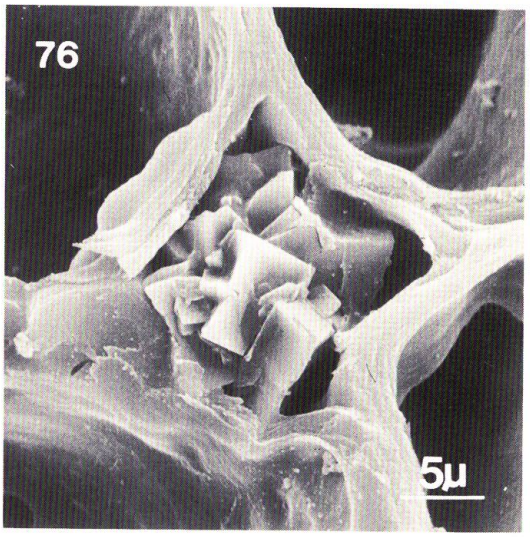

71
50μ

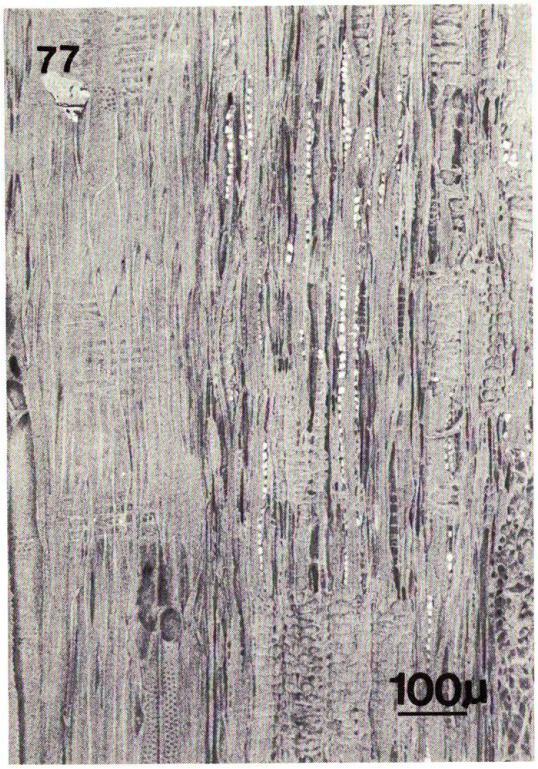

72
5μ

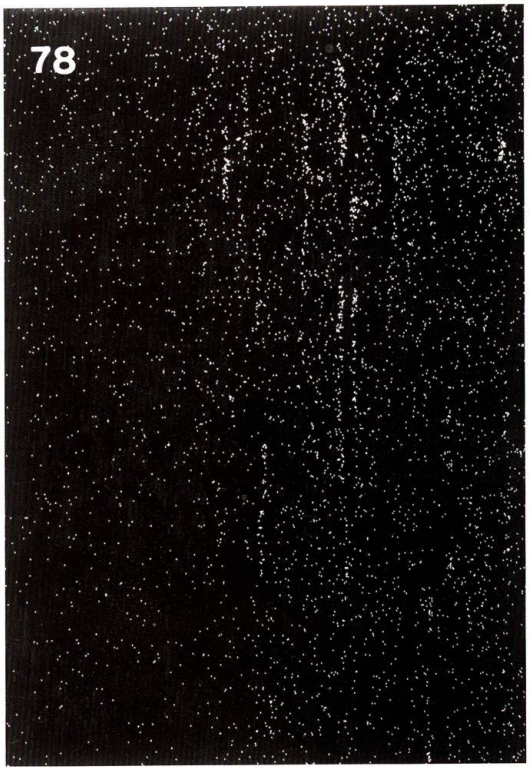
73
50μ

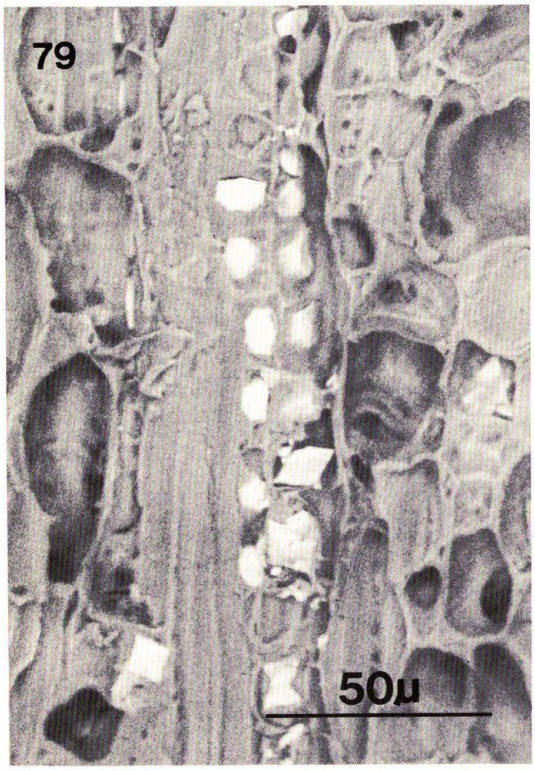

74
10μ

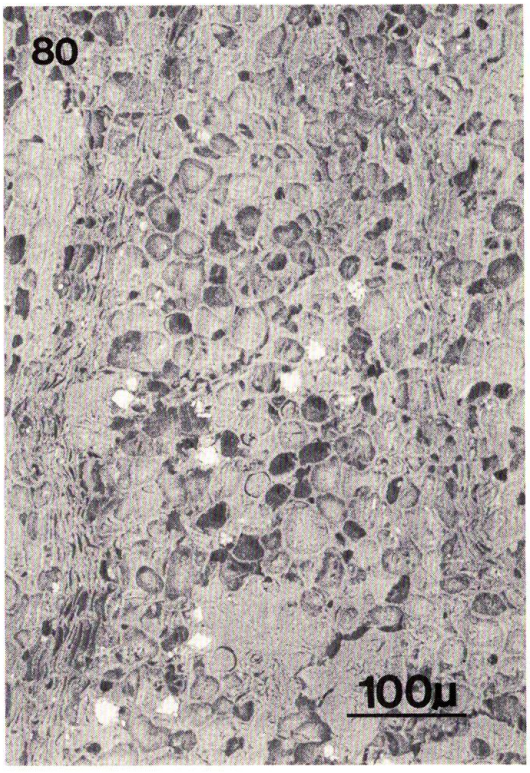

75
50μ


76
5μ


77
100μ


78


79
50μ


80
100μ