

木材构造研究史的综述

周 釜

(中国林科院木材工业研究所)

木材构造研究史可分为两部分: 1. 木材解剖学研究史; 2. 木材超微构造研究史。

一、木材解剖学研究史

木材解剖学早期作为植物解剖学的一部分, 迄今已有它自己的含义、专门描述方法和名词术语, 成为林学家和木材工艺学家重要的研究领域。

(一) 早期的研究 约于1590年第一架放大镜(不超过10倍)问世^[1]。Hooke 在1665年制做了显微镜, 放大倍数为40—140倍, 以后, 木材解剖的研究才得以开始。

植物解剖学的奠基人是意大利的Malpighi (1628—1694)、美国的Grew (1641—1712) 和Leeuwenhoek (1632—1723)。^[5, 11, 13]。有人认为古希腊的Theophrast已将植物分为乔木、灌木、多年生和一年生草本, 并指出髓部、木材、树皮的解剖构造不同^[11]。在Grew的三本《植物解剖学》(1672; 1675; 1682)中证明木材中有导管, 树皮中有纤维, 和茎的皮层及髓部具有薄壁组织, 并首次使用名词薄壁组织。他还指出, 不同木材种类应同时制作横切面和纵切面切片, 在不同的种类中有着自己的解剖学构造, 并已注意到不同分类群的植物在构造上的区别。Malpighi的《Anatome plantarum》书中(1675; 1679)已辨认出木材的纤维。Malpighi和Grew注意到植物组织的功能但误认导管是输导空气的管道, 和所有木材导管均具有螺纹加厚, 且与环形增强的气管或支气管类似^[5, 11]。Leeuwenhoek自1673年开始用图表示和描述了许多阔叶树材和针叶树材的解剖特征。

至18世纪进展很慢, 仅有Monceau研究了木材和树皮的个体发育。Hill曾被认为是第一个在水中离析纤维的。Medicus曾辨认出垂直的木纤维和水平排列的髓射线^[5, 11]。至19世纪中期, 对树木

直径的次生生长有了较清楚的概念。

1838年Payen首先判定细胞壁中具有一种带淀粉的异构物, 并称之为纤维素。同年Schleiden发现碘和硫酸能使纤维素染成蓝色, 现在通用的碘—氯化铈反应是由Schulze介绍的。1859年有人认为非木质化细胞壁不是由纯纤维素组成, 而是一些其他物质(果胶)。1838年Payen发现木质化的细胞壁中, 还有一种即1856年Schulze称为木素的物质。以后, 对木质化的细胞壁的颜色反应进行了许多研究。Hoechnol在1877年用樱桃木的抽提物建立了间苯三酚—盐酸反应。此种反应迄今仍占有位置。

(二) 20世纪以来的研究和发展

1. 普通木材解剖学 至20世纪, 木材解剖学取得明显的进步。初期Wiesner发表了《植物基本材料》(1900; 1914)一书, 其中《木材》一章是Wilhelm所写, 书中除介绍单独种类的宏观特征外, 还有三个切面微观特征的详细描述。

随着木材在世界经济中重要性的增长, 以木材识别、性质和利用为目的的专著相继出现。据Gregory^[9]统计, 20世纪以来至1980年以前各国出版的以木材识别为主要目的的书籍、论文共459种。如1902年Gamble的《印度木材手册》; 1932年Pearson和Brown的《印度商用木材》两册书出版; 以后1958、1963、1972Chowdhury和Chosh及Rao和Purkayastha出版了《印度木材》1—3卷; 澳大利亚Baker (1919)的《澳大利亚的阔叶树材及其经济价值》; Moll和Janssonius 1906—1936出版了《爪哇产树木木材显微图谱》, 共6卷, 包括80科、380属、1070种; 1952年Janssonius又发表了补篇。以后英国的Brazier等1961年出版了《阔叶树材的鉴别》。此外Metcalfe和Chalk 1950、1979、1983、1987年的《双子叶植物解剖学》及Metcalfe 1960、1961年《单子叶植物解剖学》的出版均作出了重要的贡献。

在裸子植物木材方面有Phillips 1948年的《针

叶树材微观构造的识别》; Greguss 1955年的《现存裸子植物木材解剖学的识别》及1972年的《现存松杉植物的木材解剖学》和1968年的《现存苏铁木材解剖学》等; 成俊卿1954年的《中国裸子植物木材的解剖特征和用途》; 苏联的Moskaleva 1962年的《苏联现存松杉植物的识别》; Kobayashi 1957年《日本针叶树材识别分类系统卡》; Chou-se 1969年《印度产松杉类木材分类—微观构造》; Soewarsono 1965年《印尼松杉类木材的识别》; 及Patel 1967—68的新西兰罗汉松科、柏科和南洋杉科木材解剖的研究等均做出了一定贡献。

据统计现在已经知道的木材种类已达20,000种以上, 自1983年Clark用木材穿孔卡片检索法鉴别木材以来, 现又在此基础上已开始利用电子计算机检索木材, 使木材鉴别工作更加迅速、方便。

我国木材解剖学的研究开始于三十年代初, 最先是唐耀教授开始的, 1935年出版了第一本《中国木材学》, 1943发表了金缕梅科木材系统解剖的研究。新中国成立后, 研究工作发展较快, 研究的面积和水平得到了扩大和提高, 陆续发表了许多著作和论文, 代表性著作有《云南热带材及亚热带材》及《中国经济木材识别(针叶材部分)》等。

2. 木材系统分类解剖学 (Systemy. wood anatomy)

木材系统分类解剖学是以分类学为目的, 是木材解剖学另一重要分支。至19世纪初期, Mirkel在1810年和Kieser在1815年认为比较解剖学担负着完善植物自然分类系统的重要任务, De Candolle在1818年以有无导管作为分类的特征。

Hartig在1859年曾根据木材分子不同的组合来归类许多属, 并认为木材解剖学最后可能代替基于外部形态特征的分类系统。Sanio在1863年研究了150个属, 认为木材解剖特征同样具有亲缘关系的系统分类价值, 并注意到一群体中的特性是稳定的, 而在其他群体中则可能变化。Chalon在1868年主张所有自然界的植物类群都有它们自己的木材解剖特性, 通常识别到属。

大规模的木材解剖的研究是由Radlkofer开始的, 他在无患子科 (*Sapindaceae*) 分类中采用了木材和叶的解剖特征。他的学生Solereder 1885年对双子叶植物木材构造方面的研究, 共涉及140科1200种, 着重对导管和纤维特征的了解, 特别是穿孔板和纹孔式类型, 而薄壁组织的分布和射线的组成则不很多, 他的论文是现代木材比较解剖的重要

参考文献。在老文献的启发下进一步发现的, 如侵填体等的细微构造和其个体发育^[5], 应压木^[5], Werker和Baas^[16]以及周崑等^[3]对裸子植物木材径列条的研究和异常类型的建立, 使加深了对上述特征的认识。Solereder 1899年出版了《双子叶植物系统解剖学》和1908年的补充本, 由于他的木材解剖特征是根据嫩枝和小枝为材料的, 现已要求用成熟茎干, 因而Metcalf和Chalk重新修订并改名为《双子叶植物解剖学》。

在现代系统分类学中木材解剖特征的作用已得到广泛地承认, 其证据已充满在植物分类的现代系统中, 如Takhtajan, Thorne, Cronquist和Dahlgren等。

利用裸子植物木材解剖特征协助植物分类和探讨一些科、属、种的位置, 同样有着十分重要的作用。问题是必须了解哪些特征有分类价值和鉴别价值以及这些特征能说明哪一分类等级的问题, 和这些木材解剖特征变异的进化趋势, 这就要求人们做大量的工作和从中探索出规律性来。

3. 木材系统发育解剖学 (Phylogenetic wood anatomy)

木材系统发育解剖学的突破是1918年Bailey和Tupper关于维管隐花植物、裸子植物和被子植物中次生木质部管状细胞大小变异的研究^[6], 它显示了木材解剖学研究在系统发育方面一个新阶段的开始, 并进一步发展为Bailey概念。在1918年以前木材解剖特征象射线宽度和射线聚合亦已进入了关于草本、木本植物来源问题的讨论。大多数植物学家认为木本植物较草本为原始。Metcalf和Chalk则认为草本植物的来源可能不止一种类型, 有的是由木本植物进化来的, 有的则从草本植物的祖先进化来的。

Bailey和Tupper 1918年的研究表明木材解剖特征特化的主要趋势是由无导管的长管胞, 经过具较长的梯状穿孔和具纹孔的导管分子和具纤维管胞的木材, 向着具短的、单穿孔、具互列纹孔的导管分子和韧型纤维方向过渡^[6]。这种进化趋势已被许多研究所支持, 并用薄壁组织的分布和射线组织的演化趋势作进一步阐述。Bailey等的研究已指出在演化过程中一个重要趋势是管状细胞和形成层原始细胞的长度减短, 裸子植物的木材分子比被子植物的木材分子长得多。Tippo在1938年亦指出, 长度减短是特化的一个标志。以后Frost在1930、1930a、1931年还对导管的发生、导管端壁的进化及

导管侧壁纹孔式等系统发育做了很好的研究。

Bailey概念对被子植物系统发育和分类的影响相当大,如认为木兰目(或木本的毛茛目植物)应代替柔荑花序类植物作为现存的仍然保存有最原始特征的被子植物。1954年Яценко—Хмелевский等曾从生态进化的角度进行研究,并依据双子叶植物木材导水系统的完备程度确定了八个进化类型。

近年来有不少学者对Bailey等主张的木材解剖特征进化趋势的不可逆性表示异议。依照生态学的原理,生物体的变异是经常的,因此,木材解剖学特征与其进化的程度不可能总是平行的,特别是一些量的特征,如分子长度、直径大小和某些特征的出现频率。它们的可逆性已经被注意到,如通过异源多倍性(allopolyploidy)杂交的结果,可以在后代的导管分子中产生比亲本种产生的导管分子为长,因为倍性水平(ploidy level)与分子长度有关^[5]。木材分子长度常受个体发育的强烈影响,通常幼龄材短,成熟材则长。此种变化几乎出现在所有的木材中,它是个体发育的结果,可能与系统发育的特性毫无关系。管状分子长度一般是以成熟材为基础,这里包含着一个可逆变异或返祖现象的原因。

依据次生木质部各项特征的进化趋势以确定某一类群或分类单位(纲、目、科、属等)在分类系统中的位置,和一些相邻近的分类单位间的亲缘关系,甚至某类群的起源,可能使木材解剖在系统发育解剖的研究中起着更为重要的作用,而这种作用似乎随着木材系统发育解剖研究的发展亦日益明显。

4. 木材工艺解剖学 (Technical wood anatomy)

这方面的研究约起始于20世纪早期。木材构造性质与木材物理、力学和工艺性质之间均有着极为密切的关系。

这方面研究国内已做过一些有益的工作,如长白落叶松木材导湿性与纹孔托位置的关系、长白落叶松木材构造性质与干缩关系、造纸用材扩大树种利用的研究及黄花落叶松木材超微构造及其对渗透性的影响等。

此外,近年来在木材生态解剖方面又引起不少人们的注意,如Carlquist^[7]所发表的《木质部进化的生态学意义》是代表作之一,这方面研究将对木材构造与环境条件的关系及木材进化的动力或木材生态进化的研究有着十分重要的意义。

二、木材超微构造研究史

(一) 早期历史 木材细胞壁超微构造的研究约开始于1946年或1948年。在50年代曾为世界上许多木材解剖学家和木材工艺学家感到极大兴趣。在透射电镜出现以前,一些木材解剖学家曾在木材细胞壁的微细构造方面做了一些很好的研究,他们有很好的想象力,例如1860年Sanio对应压木的研究迄今仍有参考价值。1935年Bailey和Kerr指出植物细胞次生壁具有略明显的条纹和薄层, Bailey等人用充胀剂使细胞壁膨胀致使细胞壁构造放大,证明了细胞壁具有薄壁性质。以后还有用偏光显微镜和用化学方法使细胞壁中晶体沉积以增加对细胞壁构造的了解并得到了一些补充的证据。

1913年Bailey指出针叶材具缘纹孔对流体在木材中运行起着重要作用,及纹孔膜有微孔。1935年Bailey和Kerr又指出整个细胞是由初生壁包围着,次生壁是由外层、中层、内层等三层组成。1937年Frey-Wyssling的缢状微胞理论显然比Negeli的砖形和胶泥微胞的观念易为人们接受。近年已有建立一个除去木素残存物的膨胀纤维素的构造模式,或除去纤维素残存物的木素构造模式。

还有用X-射线衍射研究木材细胞壁的物理和分子特性。Nishikawa和Ono在1931年证实了木材物质具有晶体性质。在结晶区内纤维素分子是有规则排列的,常称之为微胞(micelle = micellae)或微晶(Crystallite)。晶体的独特的光学性质又是起因于晶体内原子或原子团的有规则排列。

在用透射电镜的早期,曾有许多物理学家对纤维素纤丝进行过研究,但由于制备技术还不先进,结果仍不理想。

至1946年William和Wyckoff采用投影铸制技术、重金属高真空喷镀和金属表面蚀刻等使图像有所改进,证实了纤维素的纤丝状性质。1950年Hodge和Wardrop发表了花旗松管胞细胞壁的电镜照片,同年Fischbein报导了湿的生物组织复型的改进方法,他可能是最早进行较全面的木材超微构造的研究者。

在40年代晚期和50年代初期, Preston、Wardrop 和 Liese 等开始了木材超微构造的研究。在整个40年代中电镜技术中的关键是样品制备技术的改进而不是分辨率。Fischbein曾指出,木材胞壁上现出有微纤丝的排列方向,证实光学显微镜的证据是正确的。

约于1950年,在Fischbein的著作中曾发现一些具缘纹孔区域内有一些印痕状构造并视为一种小树脂滴^[8]。日本的Kobayashi和Utsumi (1951)记录了瘤状膜,但仍未认出一新的构造。1952年西德的Liese^[12]和日本的Harada^[10]等分别报导了“kleine Erhebung” (小凸起构造)和“particle structure” (颗粒构造)。以后Liese改名为“Warzenstruktur” (瘤状构造)及名词瘤状层,这是电镜应用以后报导的一种新的、真正构造特征。

在试样制作方面,由于切片用刀方面有了制刀机和使用钻石刀,使超薄切片技术有了很大提高。

(二) 50年代以来的研究简况

人们期待着电镜分辨率成百倍的提高,必将在木材构造知识上有一个突破。事实上,电镜提供的知识仍是基于光学显微镜已提供的概念,包括偏光显微镜、X-射线衍射技术和显微光学技术等,有人甚至认为这仅是一种高分辨率的木材解剖学。当然,不可否认自电镜广泛使用以来已做出一些较大的贡献,如在应力木的形成、细胞壁的形成、纹孔和纹孔膜的形成、木化作用和侵填体的形成等。此外,如螺旋加厚已被看作次生壁的一部分,具缘纹孔膜的结构已了解的比较清楚,细胞壁的层次已被进一步证实。

关于纹孔的研究一直是木材超微结构的一个重要方面。Bailey在1913年无电镜时代曾已指出,流体在木材中运行,纹孔膜起着重要作用和具缘纹孔膜上可能具有许多微孔。接着West在1941年对锁闭膜瓣进行了研究。以后Frenzel, Nicholas和Thomas, Liese及笔者等发现纹孔膜微孔的宽度达2000 Å及以上,并先后得到证实。关于具缘纹孔中发生纹孔塞的位移或闭塞的原因亦有了不少的研究。一般认为,液体蒸发时表面张力和接触角的关系;最初毛细管力是否能使纹孔膜发生位移;纹孔塞和纹孔缘接触时,纹孔塞向纹孔缘紧贴的力;纹孔膜的微孔必须小;和蒸发的液体必须具有使木材膨胀的能力(约与水一样或大于水的膨胀能力);蒸发液体必须能够形成氢键,包括给予体和接受体都具有形成氢键的能力。此外,作者认为由于纹孔膜结构上的变化已引起一些晚材具缘纹孔膜刚性的增大(包括微纤丝束增粗和微孔形状的变化),使晚材具缘纹孔不闭塞和少闭塞^[2]。还有对纹孔缘区的超微结构的研究,纹孔膜的化学组成及具缘纹孔膜和具缘纹孔的形态变异的研究等。直至今日纹孔

仍是一个为人们所重视的研究课题。

Wardrop已将木材细胞壁中三种基本结构物质分别为:构架物质(framework substances)(纤维素),基质(matrix substances)(半纤维素)和结壳物质(incrusting substances)(木素)^[15]。对木材的纤维素、半纤维素和木素的百分比,及其在细胞壁中的分布位置的了解则是十分有趣和有意义的。

Meier在1961年曾用偏光显微镜研究了形成层组织薄的切片和在纤维素具双折射性基础上研究S₁、S₂和S₃层的形成时间。Sachs, Clark和Pew在1963年采用酸水解和细心用水洗以除去碳水化合物而建立“木素骨架”。透射电镜证实,横过次生壁的木素分布一致,而在胞间层或中层高度密集许多小的空隙,从其直径估计是纤维素微纤丝的直径。

名词基本纤丝是Frey-Wyssling在1953、1954年首次使用于具有30 Å × 70 - 90 Å大小的晶体纤维素纤维,以后Muehlethaler(1960)和Frey-Wyssling, Muehlethaler于1963年提出基本纤丝横切面大小接近30 × 70 Å,并被一些人视为细胞壁的基本结构单位。以后许多研究者用负染色技术和金属投影技术、负染色和正染色对比,发现基本纤丝的存在,其直径大小略有差异,但大体是一致的,基本纤丝的平均直径为35 Å左右。

在微纤丝内纤维素分子组成的确切性质已经多年研究,直到今天用透射电镜对纤维素本身还不能分辨,使一些问题尚不清楚。

纤维素束的最小形状的真实大小,仍是一个重要问题。Sullivan于1968年曾认为一种可能最小的纤维素束,称之为原始纤丝(protofibrils)。以后Hanna在1973年发现了亚基本纤丝(sub-elementary fibrils),在横切面上仅有2至9个纤维素直链,或约15 Å到25 Å直径^[8]。

木材具有许多种性质,它影响和决定着木材的最终用途,而这些性质可能直接或间接地归因于木材的超微构造。木材与水分的关系被视为各种性质中最关键问题之一,因为它影响着木材加工和利用过程中的许多问题。在立木状态,整个木材的生命几乎都是沉积在“水”中。立木伐倒后的气干过程中水分蒸发丧失,液体的流动和扩散有几种现象:一是流经木材的流体动力液流;二是水分在木材中的扩散。这两个过程均包含在干燥、制浆和木材防腐处理的过程中。现代已有用图证明液体从一个细胞至另一个细胞的流动,用一种可固化的、水性可还原

醇酸树脂在适当位置固化,再用酸移去木材物质,即可用扫描电镜照片显示液体流动通道的证据。还可用扫描电镜能谱X-射线分析装置检查浆液对木浆的渗透,不仅是从细胞到细胞,而且进入细胞壁,并可作出制浆化学药品中主要元素分布图。还有通过用银盐的水溶液处理,这些银盐渗入细胞壁中,并在细胞壁的细微空隙中结晶。此种银盐可提供很好的电子对比,可用透射电镜照片(横切面的超薄切片)显示,依此可对“暂时毛细管”在木材膨胀或干缩时的增大和缩小给予推测。由于含水率的影响,对木材力学性质、导电性质和气体渗透性质均有密切关系。

Koran自1966、1968年开创了细胞壁破坏性质和拉力负荷关系的研究以后,De Baise (1970, 1972) 是第一个研究在细胞壁层次被破坏后确定破坏的准确位置。他利用了扫描电镜发现慢的开裂蔓延产生较光滑的破坏表面,而较粗的表面是由于迅速开裂蔓延的结果。Côté和Hanna在1982年研究了木材破裂表面的超微构造特征。

Antoine等将木材样品暴露在高至658mrad。 γ -射线照射下,发现超过400mrad。木材就变得很脆,而且能在任何方向破碎得很整齐,这是木材的解聚作用,它不仅反映出木材物理力学性质的变化,也反应出木材化学性质上的完全变化^[4]。很明显,这种木材的微纤丝内的纤维素链被切断,其最终物质也不再是木材,只是仍然保存着木材的外形。

此外,对涂料和胶合剂与木材物质间的接触面亦进行了研究。总之,木材超微构造描述了用电镜可分辨的结构,而木材解剖学一般是不包括此种含义的。

我国木材超微构造的研究开始于70年代中期,迄今主要在裸子植物木材超微构造方面做了一些研究,发表了十几篇论文,取得了一定的进展。

参考文献

- (1)田中克己, 1957, 显微镜的用法(中译本), 人民教育出版社。
- (2)周鉴、姜笑梅, 1986, 黄落叶松木材超微结构及其对渗透性的影响, 林业科学, 22 (3): 260—269。
- (3)周鉴、姜笑梅, 1987, 13种国产裸子植物木材径列条的扫描电镜观察, 林业科学, 23 (1): 44—50。
- (4)Antoine, R.G., Avella, T., Van Eyseren, J.C., 1971, Studies of wood treated by high

doeses of γ -radiation, IAWA Bulletin, 4: 11—16.

- (5)Baas, P., 1982, Systematic, phylogenetic, and ecological wood anatomy—history and perspectives, New Perspectives in Wood Anatomy, Junk, Boston, 23—58.
- (6)Bailey, I. W. and Tupper, W.W., 1918, Size variation in tracheary cells. I. A. Comparison between the secondary xylems of vascular cryptograms and angiosperms, Proc. Amer. Arts and Sci., 54: 149—204.
- (7)Carlquist, S., 1975, Ecological strategies of xylem evolution, Univ. California Press, Berkelly/London.
- (8)Cote, W.A., 1981, Ultrastructure-Critical domain for wood behavior, Wood Sci. Technol., 15: 1—29.
- (9)Gregory, M., 1980, Wood identification, An annotated bibliography, IAWA Bull. n.s., 1 (1—2), 3—41.
- (10)Harada, H., Miyazaki, Y., 1952, The electron microscopic observation of the cell wall of conifer tracheids, J. Japan. Forestry Soc., 34: 350—352.
- (11)Kisser, J. G., 1967, History of wood anatomy, Wood Sci. Technol., 1: 161—164.
- (12)Liese, W., Fahrenbrock, M., 1952, Elektronenmikroskopische Untersuchungen Ueber den Bau der Hoftuepfel, Holz als Roh-und Werkstoff, 10: 197—201.
- (13)Metcalf, C. R. and Chalk, L., 1979, Anatomy of Dicotyledons, Second Edition, Vol.1, Clarencon Press, Oxford.
- (14)Takhtajan, A.L., 1980, Outline of the classification of flowering plants (Magnoliophyta), Bot. Rev. 46: 225—259.
- (15)Wardrop, A.B., 1964, The structure and formation of the cell wall in xylem. In: The Formation of wood in Forest Tress, Academie Press, Inc. New York, 87—134.
- (16)Werker, E. and Baas, P., 1981, Tracheulae of Sanio in secondary tissues of Inula viscosa (L.) Desf. and Salvia fruticosa Mill., IAWA Bull. n. s. 2: 69—76.