

木材腐朽与 木材腐朽菌

池玉杰 编著

 科学出版社
www.sciencep.com

国家自然科学基金资助项目(30070623)

木材腐朽与木材腐朽菌

池玉杰 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了木材的解剖构造、化学分子结构与性质、生长在木材上的微生物类群及其演替规律、木材腐朽与木材腐朽菌的关系与类型、木材腐朽的发生发展规律、木质有机体的生物化学分解与生物转化、森林中木材腐朽菌的种群结构、木材腐朽菌的形态结构与现代分类研究、木材腐朽菌的培养特性等。本书所涉及的木材腐朽菌大部分是在原始天然林各种寄主树种和木材上较常见的种,主要分布于北方温带林区,分别隶属于菌物界真菌门担子菌亚门层菌纲非褶菌目中的各科,少部分为层菌纲伞菌目的种,还有极少数为子囊菌。

本书可供林木病理学、真菌分类学和木材利用与保护学等专业的科技人员和高等院校师生阅读,对于从事木材微生物开发利用等生产实践的人员也具有重要参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

木材腐朽与木材腐朽菌/池玉杰编著. —北京:科学出版社,2003

ISBN 7-03-011614-3

I. 木… II. 池… III. ①木腐病②木材腐朽真菌

IV. ①S782.33②S763.15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 044643 号

策划编辑:韩学哲/文案编辑:邱 璐 贾学文/责任校对:陈丽珠

排版制作:科学出版社编务公司/责任印制:刘士平

封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

西 源 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年10月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2003年10月第一次印刷 印张:14

印数:1-1 500 字数:314 000

定价:35.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

作者简介

池玉杰,女,1964年4月生;东北林业大学副教授,林木病理学博士,中国林业科学院林业工程学科博士后。1981年考入东北林业大学森林保护学本科,分别于1985年和1995年考上东北林业大学林木病理学硕士和博士研究生,于1988和1998年获农学硕士和博士学位。已发表“东北林区64种木材腐朽菌木材分解能力的研究”、“6种木材白腐菌对山杨木质素分解能力的研究”、“中国东北林区10种阔叶树上常见的多孔菌培养特性的研究”、“7种木层孔菌属(*Phellinus*)真菌的培养特性”等论文20余篇。主持国家自然科学基金面上项目、国家自然科学基金国际合作项目、黑龙江省自然科学基金项目、中国博士后科学基金等科研课题多项。主要从事木材腐朽菌等林木微生物和真菌分类学与林木病理学的教学和科研工作。

前 言

我国幅员辽阔,森林资源类型众多。其中东北林区位于欧亚大陆的东缘,主要由大兴安岭林区、小兴安岭林区和长白山林区组成,是我国最大的林区,在这里自北向南生长的主要森林植被是寒温带针叶林、温带针阔叶混交林。东北林区历史悠久,森林植物种类繁多,林分内生态条件各异,过熟老龄木和天然更新起来的幼壮林木构成的林分结构复杂,倒木、枯立木交错横生,孕育了极为丰富的可充分开发利用的大型木材腐朽菌资源。木材腐朽是木材微生物危害森林树木及木材的普遍现象,常常给林业生产和木材的使用造成巨大的损失,因而木材腐朽菌引起了历代林木病理学家和真菌分类学家的的高度重视。也正因为如此,木材微生物对木质有机物的分解过程和机制构成了林木病理学和木材保护学的重要内容。另外,大多数木材腐朽菌尽管可引起木材腐朽,却有药用价值,其中有许多种还有抗癌作用,因此,研究与开发这些大型经济真菌资源具有广阔的应用前景。自 1753 年 Linnaeus 开始,对木材腐朽菌进行系统的研究至今只有 250 年的历史,早期主要是进行形态学与分类学的研究,近年来也有一些关于木材腐朽菌的培养特性、危害作用、在生物制浆与造纸等方面的应用、生物转化、食用菌丝体的生产、环境保护以及药用价值的研究等。我国老一辈真菌学家曾先后(主要是在 1949 年以后)在我国各大林区系统地进行过大型真菌资源的考察工作,积累了大量原始资料,出版了一些大型木材腐朽菌的形态和分类、分布等研究专著。但是目前还缺乏一部系统地阐述木材腐朽与木材腐朽菌的关系与发生规律的著作。特别是,人类与木材的关系十分密切,人们掌握了木材腐朽与木材腐朽菌的关系与发生规律之后,可解决生产与生活中木材腐朽与木材防腐的实际问题,并且可巧妙地利用这一生物界的规律更好地为木质有机物的生物转化等生产实践服务。另外,木材微生物还有许多对人类有益的方面需要进一步充分开发利用。因此,作者根据自己的部分研究结果和有关这方面的科技资料编著成本书,从木材的解剖构造和化学分子结构与性质出发,力求深入浅出地阐述生长在木材上的微生物类群及其演替规律、木材腐朽与木材腐朽菌的关系与类型、木材腐朽的发生发展规律、木质有机体的生物化学分解与生物转化、森林中木材腐朽菌的种群结构、木材腐朽菌的形态结构与现代分类、木材腐朽菌的培养特性等。作者衷心地希望本书能对我国木材腐朽和木材腐朽菌的理论研究与生产实践产生积极的影响。本书可作为林木病理学、真菌分类学和木材保护学等学科或专业的科技人员和高等院校师生的参考书,也可作为林木病理学和木材保护学等学科本科生和研究生的教学参考书。另外,本书对与木材有关系的职业人员以及在日常生活中使用木材的人们也有参考价值 and 借鉴作用。

本书为国家自然科学基金项目(30070623)的研究内容,并受该项目经费资助出版,在此表示感谢。

由于作者的水平有限,本书定有不足和错漏之处,敬请各位同行前辈与同仁批评指正。

愿更多的有识之士,投入到这方面的工作中来,为研究和开发利用大型木材腐朽菌资源做出更多的贡献。

池玉杰

2002 年 8 月于哈尔滨

目 录

前言

第一章 木材的解剖构造和化学性质	1
第一节 木材的宏观解剖构造	1
一、木材的三切面	2
二、木材的宏观解剖构造	2
三、木材的颜色	5
第二节 木材的微观解剖构造	6
一、木材细胞壁的结构	6
二、针叶树材的微观解剖构造	8
三、阔叶树材的微观解剖构造	9
第三节 木材的化学组成	10
一、木材中的高分子物质	11
二、木材中的低分子物质	16
第二章 木材上的微生物类群及其演替规律	18
第一节 生长在木材上的微生物类群	18
第二节 木材腐朽与木材腐朽菌	21
一、木材腐朽的概念和木材腐朽菌的主要类群	21
二、木材变色现象	22
三、木材腐朽的发生过程和木材腐朽菌的繁殖与传播	24
四、木材腐朽的主要类型	25
第三节 活立木与木材腐朽的防治	27
一、活立木腐朽的防治	27
二、木材腐朽的防治	28
三、木材变色的防治	31
第四节 微生物在对生物分解过程中酶的作用及其生态对策	32
一、微生物在对生物分解过程中酶的作用	32
二、微生物的生态对策及其决定因素	33
第五节 木材上微生物类群的演替规律	38
一、一般规律	38
二、立木心材腐朽的微生物演替规律	40
三、立木边材腐朽的微生物演替规律	42
第六节 木材微生物在森林生态系统中的地位与作用	44
一、木材微生物在森林生态系统中的地位与作用	44
二、木材微生物的生态意义	45
第七节 木材微生物在木材上生长的条件	46
一、营养	46

二、温度	49
三、湿度(水分)	50
四、氧气(空气)	51
五、酸碱度(pH)	52
第三章 木质有机物的生物分解与生物转化	53
第一节 木材微生物对木材细胞壁的侵入和分解方式	54
一、木材作为微生物营养基质的性质	54
二、木材微生物对木材细胞壁的侵入和分解方式	54
第二节 纤维素、半纤维素和木质素的生物分解与生物转化	55
一、纤维素的生物分解与纤维素的酶解糖化	55
二、半纤维素的生物分解及其生物转化	57
三、木质素的生物分解与生物转化	57
第三节 东北林区 64 种木材腐朽菌木材分解能力的研究	62
一、试验材料和方法	63
二、试验结果与分析	64
三、结论	68
第四节 6 种木材白腐菌对山杨材木质素分解能力的研究	68
一、试验材料与方法	69
二、试验结果与分析	72
三、结论	74
第四章 森林中木材腐朽菌的种群结构	76
第一节 木材腐朽菌的种群结构类型	76
一、木材腐朽菌种群与寄主树种的关系	76
二、木材腐朽菌种群与寄主生活状态和部位的关系	79
三、木材腐朽菌种群与木材腐朽类型的关系	82
第二节 木材腐朽菌在中国东北长白山林区的种群组成和生态分布	84
一、长白山林区的自然概况	84
二、长白山林区森林植被的垂直分布	85
三、木材腐朽菌在长白山垂直林带内的种群组成和生态分布	86
四、木材腐朽菌在长白山其他生态群落中的种群组成和生态分布	89
第五章 木材腐朽菌的系统分类研究	90
第一节 多孔菌的形态概述	90
一、多孔菌的分类地位	90
二、多孔菌担子果的形态特征	91
三、多孔菌的生活史	95
四、多孔菌的采集与鉴定	97
第二节 多孔菌系统分类历史回顾	99
一、早期的人为分类系统时期(1753~1900)	99
二、近代自然分类系统时期(1900~1932)	100
三、现代分类系统时期(1932~)	102
第三节 Donk 和 Talbot 现代多孔菌分类系统	104
一、Donk(1964)非褶菌目的 6 种类型	104

二、Talbot(1973)非褶菌目的科	105
第四节 多孔菌在中国的分类研究现状和多孔菌现代分类研究展望	123
一、多孔菌在中国的系统分类研究现状	123
二、多孔菌现代分类研究展望	124
第五节 非多孔菌的木材腐朽菌类群的分类地位与形态特征	125
一、子囊菌亚门中的木材腐朽菌	126
二、担子菌亚门中的木材腐朽菌	126
第六章 中国东北林区常见的木材腐朽菌培养特性的研究	131
第一节 木材腐朽菌培养特性研究概述	131
一、研究木材腐朽菌培养特性的意义	131
二、木材腐朽菌培养特性研究的文献回顾	132
三、培养特性的研究方法	136
第二节 描述培养特性时使用的术语和它们的编码符号	137
一、描述培养特性时使用的术语	137
二、培养特性的特征和它们的编码符号	142
第三节 东北林区主要的木材腐朽菌形态特征与培养特性	146
主要参考文献	205

第一章 木材的解剖构造和化学性质

木材是一种可再生性的生物资源，有史以来就是人类生活的必需品，又是国民经济建设的重要物资。木材的用途很广，在建筑、机械、铁道、造船、造车、造纸、家具以及许多工矿企业和邮政部门都需要使用大量的木材。而我国的木材资源有限，因此，如何合理地利用木材、节约木材以及延长木材的使用寿命、发挥木材的最大作用等，都需要人类为木材的防腐事业做出贡献。为此，人们必须要搞清木材腐朽的发生发展规律。

要搞清木材腐朽的发生发展规律，首先就要了解木材的解剖构造和化学性质，这样才能详细地搞清木材在腐朽过程中各种结构和成分的变化情况。在这一章里，我们专门讨论木材的基本解剖构造和木材细胞壁的主要化学成分。有了这一章的基础，有助于我们能较好地理解木材在生物分解过程中各种成分的变化和微生物的作用机制。

木材是由树木的木质部构成的。木质部位于形成层和髓之间，是树干的主要部分，即最有使用价值的部分。初生木质部只占很小的一部分，在髓的周围。次生木质部占绝大部分，是木材的主体，因此，一般所讲的木材构造和性质均指次生木质部的构造和性质。木质部是由很多不同形态、不同大小、不同排列方式的细胞构成的。细胞壁是由多糖类的纤维素和半纤维素以及具有芳香特性的木质素组成的，这些成分可以被木材腐朽菌分解而引起木材腐朽；细胞腔内往往贮存着淀粉、树脂、单宁、脂肪酸、色素、芳香油和生物碱等，木材细胞腔内含有的单宁、树脂和芳香油等物质对微生物有毒杀和抑制作用，可以增强木材的抗腐能力。细胞壁与细胞腔中还含有水分与空气。木材的这些成分和性质造成了木材的可腐朽性和具有一定的抗腐能力。由于树木受遗传因子、地理环境和气候等影响，致使各种树种的木材构造具有其多样性，而且物理性质和化学性质也各异，但不同树种木材的解剖构造和化学性质也有一定的共同特征。

第一节 木材的宏观解剖构造

在肉眼或放大镜下能观察到的木材特征，称为木材的宏观解剖构造。木材的宏观解剖构造从不同的切面和角度观察可以表现出不同的特征，但其中在木材中最有价值的切面只有三个，即木材的横切面、径切面和弦切面。木材的三切面如图 1-1 所示。

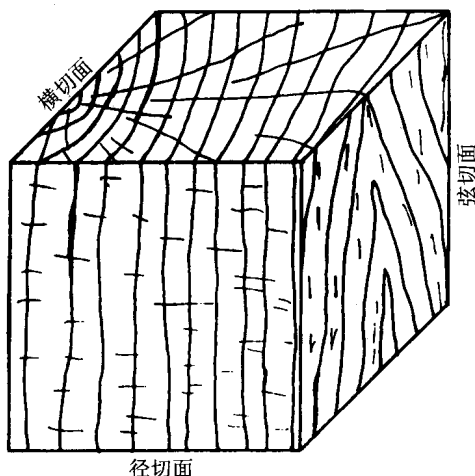


图 1-1 木材的三个切面

一、木材的三切面

木材的横切面是垂直于木纹或树轴方向截取的切面，径切面是平行于木纹或树轴方向与木射线平行或与年轮垂直截取的切面，弦切面是平行于木纹或树轴方向与木射线垂直或与年轮相切截取的切面。在不同的切面上，木材细胞的形状、大小和排列方式也不同，通过上述三个切面，基本上可以把木材的构造特征表现出来。除此之外，木材的物理、机械性能在三个切面上也有一定的差别。

二、木材的宏观解剖构造

木材的宏观解剖构造包括木材的心材和边材、生长轮或年轮、早材和晚材、木射线、树脂道、管孔、轴向薄壁细胞等。

1. 心材和边材

一般来说，木材都有颜色。有些树种的木材，其通体颜色的深浅是均一的，而有些树种的木材，在其横切面或径切面上却呈现出深浅不同的颜色。靠近树皮材色较浅的部分，称边材；靠近髓心材色较深的部分，称心材。边材、心材材色区别明显的树种，叫显心材树种或心材树种，如栎属 (*Quercus*)、白蜡树属 (*Fraxinus*)、落叶松属 (*Larix*)、紫杉属 (*Taxus*)、杉木属 (*Cunninghamia*) 等的树种；心材、边材材色没有区别的树种，叫隐心材树种或边材树种，如冷杉属 (*Abies*)、云杉属 (*Picea*)、椴属 (*Tilia*)、桦木属 (*Betula*)、杨属 (*Populus*) 等的树种。显心材的树种，靠近树皮部分的木材颜色较浅，靠近髓心周围部分的木材颜色较深，这样依据其颜色变化可以确定出边材和心材，但是有时仅以颜色来确定边材和心材并不十分准确。隐心材的树种，树干中心与外围部分的木材颜色没有区别，但边材和心材的含水量不同，在中心处木材的含水量较低，而外围处木材的含水量较高。这样，可以依据不同年轮层次的含水量差异确定边材和心材。

一般情况下，针叶树材生材的边材含水量大于心材。而一些阔叶树边材树种，如椴木、桦木、杨木等，其边材和心材既无明显的颜色变化又无明显的含水量变化，因而难以区别边材和心材，但是它们的树干中心部分常因微生物的侵蚀而使木材的颜色发生变化，类似于心材，此部分称为假心材或伪心材，俗称红心、水心。但假心材的颜色不均匀，边缘不清晰，因此很容易识别是否是真正的心材（姜笑梅等 1993，祖勃荪 2000，孙福在等 2000，诸葛强等 1997，晁龙军 1996，1997，2000）。

各树种的木材在幼龄时全是由边材构成的，随着树龄的增加，边材逐渐转化为心材。由边材转化成心材的过程是一个复杂的生物化学过程。在这个过程中，边材的生活细胞逐渐缺氧而死亡，水分输导系统阻塞，细胞腔内出现树胶、碳酸钙、色素、单宁、树脂等沉积物，由此使心材形成各种颜色或不发生颜色变化，材质变硬，容积重增大，渗透能力下降，防腐性能和耐久性能提高。

2. 生长轮、早材和晚材

在每个生长季节所形成的木材，在横切面上围绕髓心呈同心圆状，称为生长轮。在寒带或温带地区，树木一年仅有一个生长季，即在横切面上一年只增加一轮木材，故生长轮又称年轮。生长轮在不同的切面上呈现出不同的形状，在横切面上围绕髓心呈同心圆；在径切面上为明显的平行条状；在弦切面上为抛物线状或“V”字形。

生长轮在不同的年龄阶段，表现出不同的宽度。幼龄期树木生长迅速，生长轮较宽；壮龄期生长速度减慢，生长轮较窄；到老龄期生长量更少，生长轮变得愈加狭窄。在每一个生长轮内，靠近髓心部分，即生长季节早期所形成的木材，细胞分裂速度快，相比之下体积较大，细胞壁薄，材质较松软，材色较浅，这部分称为早材；而靠近树皮部分，即在生长季节晚期所形成的木材，营养物质流动能力减弱，形成层原始细胞活动能力逐渐降低，细胞分裂因而衰弱，于是形成了腔小壁厚的细胞，致使材质致密，材色较深，这部分称为晚材。由于早材至晚材的构造不同，在两个生长轮之间材质交界的地方组织结构有显著差异，明显地衬托出一条界线来，叫轮界线。早材至晚材的转变有缓有急，不同的树种差异较大：如针叶树材的落叶松、油松等和阔叶树材的环孔材，早材至晚材的变化明显而称为急变材；如针叶树材的红松、云杉、冷杉等和阔叶树材的散环孔材和半散环孔材，早材至晚材变化界限不明显而称为缓变材。

生长轮的宽窄随树种、树龄和生长条件的不同而变化。幼龄材的生长轮比成熟材的生长轮宽。在同一株树中，生长轮宽度的垂直变化表现为愈接近树基部，生长轮愈窄；愈接近树梢，生长轮愈宽。生长轮宽度的水平变化表现为愈靠近髓，生长轮愈宽；愈靠近树皮，生长轮愈窄。

3. 木射线

在木材横切面上，可以看到许多颜色较浅的呈辐射状的线条，称为射线。起源于初生分生组织向外延伸的射线，称为初生射线，初生射线可以从髓心直达树皮。起源于形成层的射线，称为次生射线，在木质部的射线部分称为木射线；在韧皮部的射线部分称为韧皮射线。

由于木射线的光泽与其他组织不同，因此在三个切面上表现出不同的花纹。木射线在横切面上呈辐射状；在径切面上呈垂直于年轮的平行短线；在弦切面上呈平行于木材纹理的短线。针叶树材的木射线不发达，用肉眼或放大镜观察时，在横切面和弦切面上表现不明显；阔叶树材的木射线很发达，但不同树种的木射线宽度和高度不同，木射线的宽度和高度在弦切面上可以显示出来，垂直于木材纹理的方向为宽度，平行于木材纹理的方向为高度。

木射线的宽度可分为用肉眼观察很明显的宽木射线，如青冈栎属、栎属等树种的木材；肉眼可见或明显的细木射线，如色木的木材等；肉眼下看不见或不明显的极细木射线，如杨木的木材等。各种树种木射线的高度变化也很大，例如，桤木的木射线高度可达160mm，栎木的木射线高度为50mm，而有的树种木射线高度不足1mm，一般情况下木射线的高度都在1mm以上。

4. 管孔

导管是绝大多数阔叶树材所具有的输导组织。导管在横切面上呈孔穴状就是管孔，在纵切面上呈细沟状称作导管线。除昆兰树科、水青树科的树种外，导管是所有阔叶树材的特征。由于管孔较大，在肉眼或放大镜下容易见到，故称阔叶树材为有孔材；针叶树材除麻黄科的树种外，均不具导管，因此由于针叶树材绝大多数树种不具导管，组成针叶树材的所有细胞的细胞腔很小，在肉眼和放大镜下均看不见，故称针叶树材为无孔材。

管孔的有无是区别针叶树材和阔叶树材的重要特征。管孔的分布、组合和排列是区别阔叶树材的重要特征。在横切面上，不同的材种其管孔在一个生长轮内从内到外的分布和大小不同。根据管孔的这种分布和大小，阔叶树木材大体上可分为散孔材、环孔材、半散孔材或半环孔材、辐射孔材和切线孔材等。散孔材是指一个生长轮内早晚材管孔的大小没有显著的区别，分布均匀，如桦木属、椴属、柳属 (*Salix*) 等；环孔材是指一个生长轮内早材管孔明显地比晚材管孔大，沿生长轮呈环状排列，有一至数列，如刺楸通常为数列，蒙古栎、榆木、水曲柳、刺槐等为数列；半散孔材或半环孔材是指一个生长轮内管孔的排列介于散孔材和环孔材之间，早材管孔较大，略呈环状排列，早材管孔到晚材管孔的大小为渐变，如核桃楸、枫杨、乌桕等；辐射孔材是指早晚材管孔的大小没有显著的区别，管孔沿半径方向呈辐射状，可穿过一个生长轮和几个生长轮，如青冈栎、拟赤杨等；切线孔材是指一个生长轮内全部管孔呈数列弦链状排列。

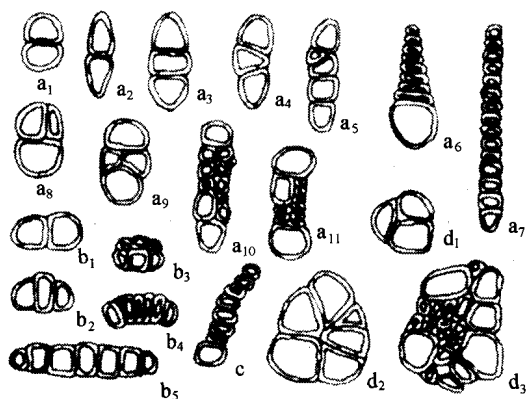


图 1-2 在横切面上复管孔的类型

a₁~a₁₁. 径列; b₁~b₅. 切线状;

c. 斜列; d₁~d₃. 孔团状

管孔分单管孔和复管孔两种类型。在横切面上，管孔完全为别的细胞所围绕而呈单一状，就称单管孔。单管孔可呈圆形、椭圆形、卵形、不规则的圆形和多边形等；两个或两个以上的管孔紧密连接在一起，连接处呈扁平状或集团状，像单管孔一样被分割，就叫复管孔。复管孔可分为径列、切线状、斜列和孔团状等四种类型。径列是管孔呈径向排列，其间隔以扁平状切线的细胞壁，可以是两个管孔、三个管孔、多个管孔的组合，以及不同大小和不同形状的管孔的组合；切线状是在生长轮中，管孔组合呈切线状；斜列是管孔呈不规则的切线状斜列；孔团状是管孔聚集成团状，很不规则。在横切面上复管孔的类型如图 1-2 所示 (李坚等 1994)。

管孔内常含有侵填体和无定形沉积物。侵填体是导管腔内的一种瘤状物，在阳光或灯光下，用肉眼或放大镜观察，侵填体呈碎玻璃状，具有很强的光泽。具有侵填体的木材，因管孔被堵塞，降低了气体和液体对木材的渗透性，但增加了木材的天然耐久性。无定形沉积物是指树胶或白垩质等其他有机沉积物。

5. 树脂道

某些针叶树材中，由分泌细胞围绕而成的细胞间隙，叫树脂道。具有正常树脂道的树种只有松科的松属 (*Pinus*)、云杉属、落叶松属、油杉属 (*Keteleeria*)、黄杉属 (*Pseudotsuga*)、银杉属 (*Cathaya*) 等树种。创伤树脂道是因树木受伤而产生的树脂道。创伤树脂道可能发生在具有正常树脂道的树种中，也可能发生在没有正常树脂道的树种中，如冷杉属、雪松属 (*Cedrus*) 等属的树种。

6. 轴向薄壁组织

在木材横切面上，用肉眼或放大镜可以观察到部分颜色较浅的组织，这部分是由轴向薄壁细胞组成，统称为轴向薄壁组织。针叶树材的轴向薄壁组织不发达或根本没有，仅在杉木、柏木等少数树种中存在，在肉眼或放大镜下不易见，但轴向薄壁细胞内有时含有树脂，可以看到褐色的小斑点。阔叶树材的轴向薄壁组织通常比较发达，在横切面上呈现出不同形状的分布，其颜色常比周围的基本组织颜色浅，因此，只要有一定数量的轴向薄壁细胞存在就不难分别，特别是在木材水湿后更容易看到，这也是识别阔叶树材的重要特征之一。

三、木材的颜色

木材的颜色是多种多样的，这与树种有关，不同树种的木材颜色不同，如云杉 (*Picea asperata*) 几乎是洁白如霜，山杨 (*Populus davidiana*) 呈白色或材白色等。即使是同一属树种的木材的颜色也不相同，如白桦 (*Betula platyphylla*) 呈黄白色，红桦 (*Betula albosinensis*) 呈浅红褐色，黑桦 (*Betula dahurica*) 呈暗红褐色等。

木材为什么会有不同的颜色呢？在树木生长过程中，木材细胞会发生一系列的生物化学反应，会产生出各种色素、树脂、树胶、单宁以及其他氧化物质等，在木质素大分子中含有许多发色基团，这些物质沉淀在细胞腔内、细胞壁上或渗入到木材的细胞壁中，从而使木材呈现出各种颜色。

木材的颜色变化很大，就是同一树种的木材，也要因为木材的干湿、在空气中暴露的时间长短、有无腐朽、是否受到其他真菌和细菌的侵染，以及树龄、部位、断面、立地条件等因素的不同而发生变异。如干材的颜色比湿材浅；当木材长期接触空气时，木材表面就会逐渐被氧化而变化原有的颜色；同一株树木也会因不同的部位而有差别，如心材和边材就不一样；在不同的木材切面（如横切面、径切面和弦切面）上，木材颜色也有变化；即使在木材同一表面上，不同的细胞间和组分的差异也会引起木材颜色的微细变化；而当树木受到各种机械伤、风折、受各种菌类和昆虫伤害、甚至气压有变、气温变化时，都可以使活立木的断面发生变色，木材有时也因为感染木材腐朽菌或变色菌等使木材变色。马尾松 (*Pinus massoniana*) 的边材常有青变，色木 (*Acer mono*) 和桦木常有杂斑。

一般地说，木材的颜色变化具有生理学的意义，是木材的化学成分或至少是木材的表面化学成分变化的结果（李坚等 1994）。

第二节 木材的微观解剖构造

在光学显微镜下观察到的木材构造，称为木材的微观解剖构造。

一、木材细胞壁的结构

木材由许许多多的空腔细胞所构成，其中的原生质已消失，实体是细胞壁。木材细胞壁主要由纤维素、半纤维素和木质素三种成分构成。木材细胞壁的结构，是以纤维素作为骨架的，它的基本组成单位是一些长短不等的链状纤维素分子，这些纤维素分子链平行排列，有规律地聚集在一起称为微团或称作基本纤丝。微团是由许多纤维素大分子

链聚集而成的连续结构，但沿微团的长度方向，纤维素大分子链的排列状态不甚相同，在大分子链排列最致密的地方，分子链平行排列，定向良好，形成纤维素的结晶区，结晶区的分子链与分子链间的结合力随着分子链间的距离缩小而增大；当纤维素分子链排列的致密程度减小时，在分子链间形成较大的间隙，彼此之间的结合力下降，纤维素分子链间排列的平行度下降，形成纤维素的非结晶区。纤维素的结晶区与非结晶区之间无明显的绝对界限，而且在一个微团的长度方向上可包括几个结晶区和非结晶区。在电子显微镜下观察，组成细胞壁的最小单位是微团，其宽度为 3.5~5.0nm，断面大约包括 40（或 37~42）根纤维素分子链，微团的长度变化较大。由微团组成一种丝状的微团系

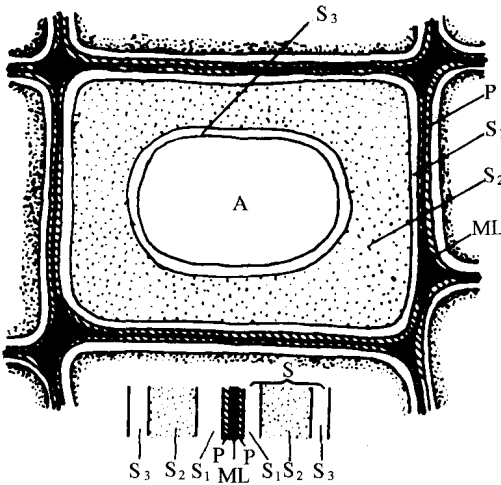


图 1-3 木材细胞壁的构造

ML. 胞间层; P. 初生壁; S. 次生壁; A. 细胞腔;
S₁. 次生壁外层; S₂. 次生壁中层; S₃. 次生壁内层

统称为微纤丝，由微纤丝组成纤丝，纤丝再聚集成粗纤丝，粗纤丝相互结合形成薄层，许多薄层再聚集形成细胞壁。半纤维素则以无定形状态渗透在纤维素中，增加了细胞壁的刚性。木质素是在细胞分化的最后阶段才形成的，它也渗透在纤维素中，可使细胞壁坚硬。木材细胞壁的各部分常常由于化学组成的不同和微纤丝排列方向的不同，在结构上分出层次，在光学显微镜下，通常可将木材细胞壁分为胞间层（middle layer, ML）、初生壁（primary cell wall, 简称 P）和次生壁（secondary cell wall, 简称 S）。木材细胞壁的构造如图 1-3 所示。

1. 胞间层

胞间层（ML）是细胞分裂以后最早形成的分隔部分，随即再在胞间层的两侧沉积形成初生壁。胞间层主要由一种无定形、胶体状的果胶物质所组成。不过，在成熟的细胞中已很难区别出胞间层，因为通常在胞间层出现不久，很快在其两侧沉积了纤维素，

形成初生壁。这种沉积过程是逐渐进行的。当细胞长大到最终形体时，胞间层常常很薄，很难将胞间层和初生壁区别开。实际上，通常将胞间层和其两侧的初生壁合在一起，称之为复合胞间层。

2. 初生壁

初生壁 (P) 是在胞间层两侧最早沉积的壁层，一般较薄，为细胞壁厚度的 1% 以上，它是在细胞继续增大时所形成的壁层，可随着细胞的增大而不断增厚。初生壁在形成的初期，主要由纤维素组成，以后可随着细胞的增大逐渐沉积其他物质。

3. 次生壁

次生壁 (S) 是细胞停止增大以后，在初生壁上继续形成的壁层。次生壁的主要成分是纤维素和半纤维素的混合物。但是在细胞壁发生木质化阶段时，次生壁上还沉积有大量的木质素和其他物质。次生壁由于纤维素分子链组成的微纤丝排列方向的不同，又可明显地分出三层，即次生壁外层 (S_1)、次生壁中层 (S_2) 和次生壁内层 (S_3)。在细胞壁中，次生壁最厚，占细胞壁厚度的 95% 以上。而次生壁上各层的厚度分别为： S_1 层占细胞壁厚度的 9%~21%； S_2 层占细胞壁厚度的 70%~90%； S_3 层占细胞壁厚度的 0~8%。可见次生壁 S_1 层和 S_3 层较薄， S_2 层最厚。

微纤丝角是细胞壁上微纤丝的走向与细胞轴的交角，主要是指细胞壁上 S_2 层微纤丝与细胞轴的交角，因为 S_2 层最厚。这个角度与纤维的打浆性能关系很大，影响纤维的结合能力，这个角度越小，意味着这种纤维在打浆时越容易纵裂帚化，使纤维的表面积增加，从而纤维的结合强度也就增加，制浆后的纸浆强度也随之增加。 S_1 层的微纤丝呈平行排列，与细胞轴一般呈 $50^\circ\sim 70^\circ$ 角，以“S”型或“Z”型缠绕； S_2 层的微纤丝排列的平行度最好，微纤丝与细胞轴一般呈 $10^\circ\sim 30^\circ$ 角，近乎平行于细胞轴；而 S_3 层的微纤丝与细胞轴一般呈 $60^\circ\sim 90^\circ$ 角，微纤丝排列的平行度不甚好，呈类似不规则的环状排列。

次生壁是在细胞壁增厚时形成的，当细胞的原生质体停止活动时，次生壁也就停止了沉积。木材中的管胞、导管和木纤维等重要组成分子的细胞壁均有明显的次生壁。

4. 纹孔

纹孔是指木材细胞壁加厚产生次生壁时，初生壁未被加厚的部分。在活立木中，纹孔是相邻细胞间水分和养料的流通通道。木材干燥、木材防腐剂的浸注、阻燃剂的浸注、制浆等加工工艺都与纹孔的渗透性有关。纹孔主要由纹孔膜、纹孔环、纹孔缘、纹孔腔、纹孔室、纹孔道和纹孔口等组成。纹孔的类型可分为单纹孔和具缘纹孔两大类。纹孔多

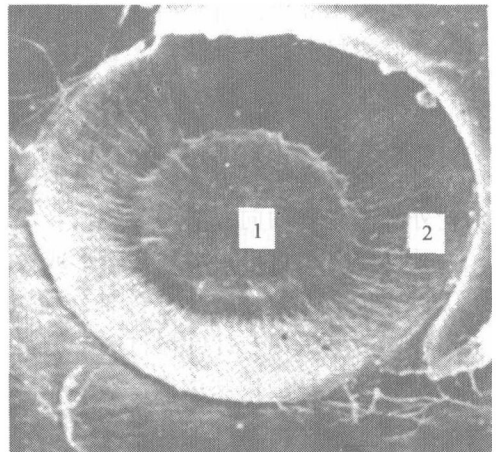


图 1-4 落叶松早材管胞径面壁上的具缘纹孔膜
1. 纹孔塞；2. 塞缘

数成对，即细胞上的一个纹孔与其相邻细胞的另一个纹孔构成对，称作纹孔对，典型的纹孔对有具缘纹孔对、半具缘纹孔对和单纹孔对等。纹孔是木材细胞壁上的重要特征，在木材识别上具有一定的意义。图 1-4 显示了落叶松早材管胞径面壁上的具缘纹孔膜(边材)。

二、针叶树材的微观解剖构造

针叶树材的解剖分子较为简单，排列亦较规则，其主要组成分子有轴向管胞、索状管胞、轴向薄壁细胞、木射线和树脂道等。

轴向管胞是针叶树材中的一种锐端细胞，是组成针叶树材的主要细胞，它的主要功能是输导水分和对树体的机械支撑功能。轴向管胞可占整个针叶树材体积的 90% 以上，因而它是决定针叶树材材性和识别针叶树材的重要特征。在横切面上，轴向管胞沿径向排列，比较整齐，具有一定的规则，多数呈矩形，这是针叶树材的固有特征。早材管胞因相邻两列管胞位置前后多少有些错位，致使管胞相互之间形成胞间隙，管胞的形状由矩形而略变为圆形、多角形，最常见的为六边形；而晚材管胞的形状变化较小，多为矩形。在每个生长季开始的早材部分，轴向管胞的径向直径最大，管胞壁最薄；在生长季的后期，径向直径逐渐减小，管胞壁逐渐加厚。早材管胞的弦向直径与晚材管胞的弦向直径近乎相等，不随生长季节的变化而变化。管胞直径的测定通常以测定弦向直径为准，一般管胞的弦向直径为 $15\sim 80\mu\text{m}$ 。针叶树材材质结构的粗细，取决于管胞的弦向直径的大小，因此，针叶树材结构的粗细可分为三级：管胞弦向直径小于 $30\mu\text{m}$ 者，木材结构细；管胞弦向直径在 $30\sim 45\mu\text{m}$ 者，木材结构中等；管胞弦向直径大于 $45\mu\text{m}$ 者，木材结构粗。在各生长轮中，沿径向从早材至晚材，轴向管胞长度的变化有一定的规律，早材的管胞长度较短，其平均长度为 3.247mm ；晚材的管胞长度较长，其平均长度为 3.654mm 。晚材管胞比早材管胞的长度长 12.53%。多数树种管胞的长度为 $3\sim 5\text{mm}$ ，最长的管胞可达 11mm ，最短的为 1.21mm 。一般管胞的长度为宽度的 $75\sim 200$ 倍（多数为 100 倍左右）。针叶树材轴向管胞壁上有具缘纹孔、眉条、螺纹加厚等特征，一些针叶树材有时管胞腔内含有树脂。

索状管胞是轴向成串的管胞中的一个细胞，每串细胞起源于一个形成层原始细胞。其特征是形体短，长矩形，纵向串联，细胞侧壁及端壁均有具缘纹孔，细胞腔内不含有树脂。索状管胞可视为轴向管胞与轴向薄壁细胞或泌脂细胞的过渡管胞，大都存在于生长轮外缘部分或轴向树脂道附近。

轴向薄壁组织是由典型的矩形或等矩形、壁薄、其细胞壁上有单纹孔的细胞组成的组织，其中的一个细胞被称为轴向薄壁细胞，轴向薄壁细胞由纺锤形原始细胞分生而来。轴向薄壁组织在针叶树材中含量甚少，占总体积的 1.5% 左右。仅在杉科、柏科和罗汉松科等木材中较发达，形成显著的特征，为识别该类木材的重要依据。在松科木材中，在冷杉属、雪松属、金钱松属等有少量存在。在轴向薄壁细胞腔内常含有树脂或芳香油，如杉木、柏木和圆柏木材可供抽提杉木油和柏木油，这类木材也具有较好的耐久性，可以延长木材的使用年限。另外，轴向薄壁细胞壁薄、腔较大，因而是木材物理力学性质最薄弱的部位。

木射线存在于一切针叶树材中，为组成针叶树材的主要分子之一。但针叶树材的木射线含量较少，约占木材总体积的7%。木射线是由许多沿径向成串排列的矩形细胞组成，每个单独的细胞称为木射线细胞。针叶树材的木射线主要为射线薄壁细胞所组成，但在松科中的松属、云杉属、落叶松属、黄杉属、雪松属、铁杉属等的木材中又有射线管胞存在，是这类木材的特征。射线管胞为木材组织中惟一呈横向排列的锐端细胞，是木射线中与木纹方向垂直排列的横向管胞，其形体与射线薄壁细胞大体类似，但多数不甚规则，壁上有具缘纹孔，但比轴向管胞壁上的具缘纹孔少而小。射线管胞的平均长度为0.1~0.2mm，为轴向管胞长度的1/30~1/15，长度是宽度的5~10倍，它们多出现于射线薄壁细胞的上下边缘，成1~2列，有时也混生于射线薄壁细胞之中。射线薄壁细胞是组成所有木材木射线的主体，为横向生长的薄壁细胞，形体较大，呈矩形、长方形或略呈不规则的形状。射线薄壁细胞壁薄，侧壁及端壁上有单纹孔，细胞腔内常含有树脂。

树脂道是具有分泌树脂能力的泌脂细胞及其中的树脂腔的总称。树脂道是分泌树脂的部位，占木材体积的0.1%~0.7%。根据树脂道相对于树干的排列方向，可分为轴向树脂道和横向树脂道两种，两种树脂道之间相互沟通，因此树脂道是一个完整的体系。树脂道由泌脂细胞、死细胞、伴生薄壁细胞和树脂腔组成。泌脂细胞是树脂腔周围一层分泌树脂能力很强的细胞，是分泌树脂的源泉。松属的树脂道最多也最大，其直径可达60~300 μm ；落叶松属为40~80 μm ；云杉属为40~70 μm ，树脂道的长度一般为10~70cm，最长的可达100cm。

一些针叶树材的薄壁细胞的胞腔内有时含有晶体。晶体是树木生活过程中新陈代谢的产物，其化学成分主要为草酸钙（ CaC_2O_4 ），常见的晶体为单晶体或簇晶。晶体主要存在于轴向薄壁细胞及射线薄壁细胞中，还有存在于轴向管胞内的。

三、阔叶树材的微观解剖构造

阔叶树材的解剖分子比针叶树材复杂，其组成分子主要有导管、木纤维、管胞、轴向薄壁细胞及木射线等。由于阔叶树材比针叶树材进化得多，其组成的主要成分导管和木纤维分子的作用分工明确，导管主要起输导作用，而木纤维主要起机械支撑作用。

导管是由一连串的轴向细胞形成的，是无一定长度的管状组织，构成导管的单个细胞为导管分子。导管的平均弦向直径在25~400 μm 之间，导管分子的长度一般在200~800 μm 之间，极长者可达1900 μm 以上。上下相连的两个导管分子之间有相通的孔隙，称作穿孔。穿孔为树干中水分上下移动的通道。穿孔可分为单穿孔和复穿孔两大类。导管分子的穿孔板如图1-5所示。导管壁上的纹孔为具缘纹孔，导管与导管之间的纹孔形成具缘纹孔对，这类纹孔的形状随树种不同而异，主要有圆形、椭圆形、多边形等，为木材鉴别的重要特征之一。导管与射线薄壁细胞、轴向薄壁细胞之间的纹孔形成半具缘纹孔对，但颇似单纹孔对，这类纹孔的排列、大小的差异也是识别树种所特有的特征。导管壁上螺纹加厚的有无、明显程度、倾斜度、存在部位以及集合状态等都为木材识别的重要特征。

阔叶树材的管胞不同于针叶树材的管胞，它所占的比例极少，并且管胞的长度较