

2025 年北京市高等教育教学成果奖 支撑材料

成果名称: 基于“知木·树人·铸魂”理念的
“高等木材学”教学改革与实践

成果完成人: 马尔妮、林剑、曹金珍
王望、彭尧、张扬

成果完成单位: 北京林业大学

推荐时间: 2025 年 10 月 10 日

目 录

- 1、课程教学大纲
- 2、课程多媒体课件
- 3、课程评价体系说明
- 4、课程随堂线上小测分析报告（例）
- 5、课程平时作业（例）
- 6、课程小组报告说明、分组情况、样例与评价
- 7、课程结课考试样卷及评价标准（例）
- 8、课程教学总结表（例）
- 9、自制个性化调查问卷报告（例）
- 10、课程改革教研论文
- 11、北京林业大学参评研究生精品课程教学质量评价表（同行专家、研究生例）
- 12、课程获奖
 - 1) 北京林业大学研究生教学成果二等奖
 - 2) 北京林业大学研究生第六届研究生精品课程
- 13、教学团队获奖
 - 1) 全国优秀教师
 - 2) 北京高校第九届青年教师教学基本功比赛理工类 A 组一等奖
 - 3) 北京高校第九届青年教师教学基本功比赛理工类 A 组最佳演示奖
 - 4) 北京高校第九届青年教师教学基本功比赛理工类 A 组最佳教案奖
 - 5) 北京市师德先锋
 - 6) 北京市青年教学名师
 - 7) 北京市科学技术奖三等奖
 - 8) 北京高校第十二届教师教学基本功比赛工科类 A 组优秀指导教师奖
 - 9) 第一届北京高校教师教学创新大赛三等奖
 - 10) 北京市普通高校优秀本科毕业设计（论文）优秀指导教师
 - 11) 北京高校优质本科课程（重点）及北京高等学校优秀专业课（公共课）主讲教师
 - 12) 梁希林业科技奖自然科学二等奖
 - 13) 北京市教育系统育人榜样
 - 14) 北京林业大学教学成果一等奖
 - 15) 第一届北京林业大学教师教学创新大赛一等奖
- 14、推广应用证明

课程教学大纲

研究生课程教学大纲

高等木材学

Advanced wood science

32 学时（其中，讲授：32 学时；实验： 学时；实习： 学时）；2 学分

一、课程简介

“高等木材学”是木材科学与技术学科研究生的学位课程，是一门重要的专业基础课程。课程主要包括木材物理学和木材解剖学两部分核心内容，通过基础理论、基本方法、以及当前国内外研究动态和进展的介绍，达到提高研究生的理论水平和实际研究能力的教学目的，为培养学科科研工作者奠定良好的基础。

二、预修课程及适用专业

预修课程：“木材学”

适合专业：木材科学与技术

三、课程内容及学时分配

第一部分 木材解剖学（16 学时）

1. 木材的形成与基本构造（6 学时）

主要介绍树木的生长机制与木材的形成，以及木材的宏观、微观及超微三级解剖构造，重点剖析细胞壁的形成与结构的相关研究进展。

2. 木材解剖构造的变异性（2 学时）

主要介绍株内木材构造与性质的变异性，并讨论幼龄材和应力木的解剖构造和性质的变异。

3. 木材化学成分的生物合成（4 学时）

主要介绍木材细胞壁化学成分纤维素、半纤维素与木质素的生物合成过程，并拓展三种化学组分的高值化利用研究。

4. 木材解剖研究的新技术和新领域专题讨论（4 学时）

以小组团队的形式，由学生在木材解剖研究的新技术和新领域范围内自主选题，通过梳理文献、归纳相关信息、制作 PPT 后进行学术汇报。

第二部分 木材物理学（16 学时）

5. 木材中的水分（8 学时）

主要介绍木材中水分的类型与状态、水分吸着理论及水分吸着动力学，重点讨论基于化学成分分子量计算、吸附热力学、弛豫、以及低场核磁共振技术等手段的木材中水分的研究方法。

6. 木材的干缩湿胀（4 学时）

主要介绍木材干缩湿胀的机理、特征及研究进展，分析干缩湿胀对木材加工利用的影响，拓展其经典理论模型。

7. 木材物理学前沿性专题讲座（4 学时）

邀请国内外知名学者就木材物理学的前沿与学术热点开展专题性讲座与交流。

四、教学方式及要求

采取讲授、研讨相结合的方式，并定期邀请国内外专家开展专题性讲座。对于研讨的环节，提前安排学生课下阅读相关的英文文献，培养其自学能力、提高专业外语水平。

五、考核办法

课程考核方式为开卷考试。总评成绩包括平时成绩和考试成绩两个部分，平时成绩占 40%，考试成绩占 60%。

六、参考书籍及阅读文献资料

- 1、马尔妮, 赵广杰. 2012. 木材物理学专论. 中国林业出版社, 北京.
- 2、何天相. 1994. 木材解剖学. 中山大学出版社, 广州.
- 3、Skaar, C. 1988. Wood-water relations. Springer-Verlag, Berlin.
- 4、Carlquist S. 2001. Comparative wood anatomy: systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood. 2nd edition, Springer-Verlag, Berlin.
- 5、Sano Y, Ohta T, Jansen S. 2008. The distribution and structure of pits between vessels and imperforate tracheary elements in angiosperm woods. IAWA Journal, 29(1): 1-15.
- 6、Kukkola E, Saranpaa P, Fagerstedt K. 2008. Juvenile and compression wood cell layers differ in lignin structure in Norway spruce and Scots pine. IAWA Journal, 29(1): 47-54.
- 7、Muller M, Burghammer M, Sugiyama J. 2006. Direct investigation of the structural properties of tension wood cellulose microfibrils using microbeam X-ray fibre diffraction. Holzforschung, 60: 474-479.

课程多媒体课件

Wood Science Advanced Wood Science Advanced Wood Science

Advanced Wood Science Advanced Wood Science Advanced Wood Science

高等木材学

知不足处 其乐无穷



马尔妮
办公室: 森工楼419
邮箱: maerni@bjfu.edu.cn
电话: 62336907

1

Contents

关于课程
About Course
木材解剖学
Wood Anatomy
木材物理学
Wood Physics

2

关于课程 基本信息



马尔妮
教授、博士生导师



林剑
副教授、硕士生导师

- 木材的形成与基本构造-基础引入(4)
 - 木材解剖构造的变异(4)
 - 木材组分的生物合成(4)
 - 木材中的水分(8)
 - 木材的干缩湿胀(4)
 - 专题讲座: 木材干缩湿胀的表征与评价(4)
 - 专题讨论: 小组报告(4)
- 木材解剖学
木材物理学



3

专题讨论

课程考核		平时成绩		期末成绩		总分	
出勤	3	平时作业	3	期末考试	70	总分	73
小组报告	7	小组报告	7	开卷考试	10	总分	80

最终成绩(20分) = 互评成绩(10分) + 自评成绩(10分)
加分机制: 报告人在小组得分基础上加1分

小组报告 (第11周)

文献阅读及汇报展示

- 研究的意义和目的;
- 以往研究进展程度;
- 研究的方法和手段;
- 研究结果分析与讨论;
- 论文的不足及对自身研究的启发等。

选题

木材解剖或木材中水分研究的新技术、新发现

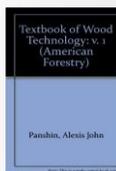
要求

- 共9组, 每组4-5人, 组长负责制, 协调分工
- 第5周确定选题、第6周确定分工、第10周把关
- 汇报时间15分钟

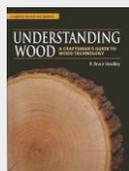
源期刊: IAWA Journal, Holzforschung, Wood Science and Technology, European Journal of Wood and Wood Science, Wood and Fiber Science, Forest Products Journal, Cellulose, Carbohydrate Polymers, Macromolecules, Nature Communication,.....

4

关于课程 参考文献



Textbook of Wood Technology



Understanding Wood



Forest Products and Wood Science



木材物理学专论

5

木材解剖学 基础引入



树木的生长

- 初生长
- 次生长
- 营养运输



木材的形成

- 细胞分裂
- 细胞分化
- 细胞成熟



木材的构造

- 宏观构造
- 微观构造
- 超微构造

6

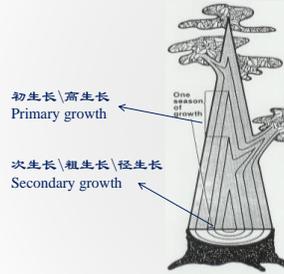
木材解剖学 树木的生长



? 所谓“拔地而起”是否真能够真正诠释树木的生长？

7

木材解剖学 树木的生长

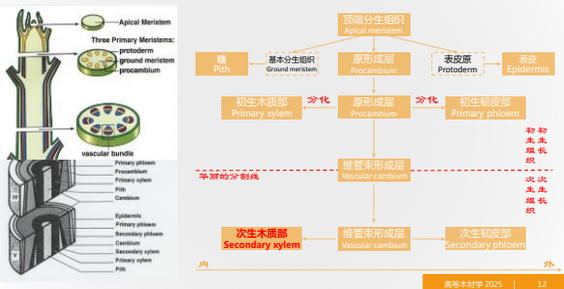


初生组织 来源于顶端分生组织
Primary tissue 初生木质部, 初生韧皮部等

次生组织 来源于维管形成层
Secondary tissue 次生木质部, 次生韧皮部等

8

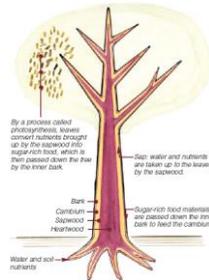
木材解剖学 树木的生长：从初生长到次生长



9

木材解剖学 树木的生长：水分和养分的运输

下行：
由树冠合成的葡萄糖及生长激素
通过韧皮部输送至树木全体



上行：
由木质部吸收的水分和养分
通过木质部输送至树冠

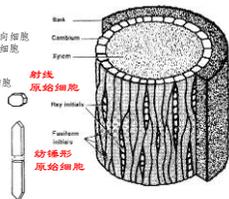
10

木材解剖学 木材的形成

木材是树干及较粗大枝条的次生木质部，由形成层原始细胞分生而来

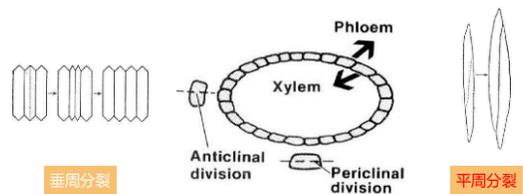
木材的形成过程

- 形成层细胞的分裂 纺锤形原始细胞→木质部和韧皮部的轴向细胞
射线原始细胞→木质部和韧皮部的射线细胞
- 新生木质部细胞的分化 分化为具有不同特征和功能的细胞
如管胞, 导管等
- 新生木质部细胞的成熟 细胞的扩大生长
细胞壁增厚及木质化
- 成熟木质部细胞的蓄积



11

木材解剖学 木材的形成：形成层细胞的分裂



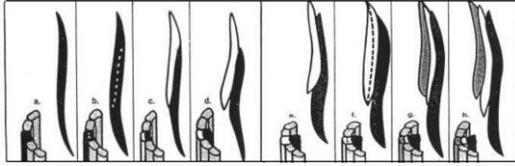
垂周分裂

平周分裂

12

木材解剖学 木材的形成：形成层细胞的分裂

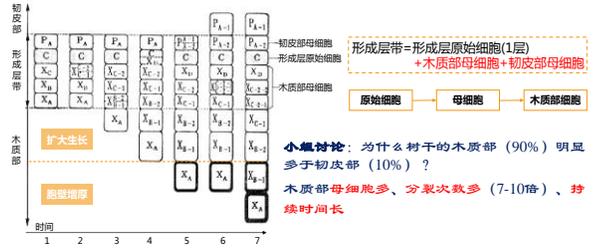
Periclinal division of fusiform initials



a, b: a fusiform initial of the vascular cambium prepare to divide
 c: the initial divides, forming two cells, one of which remains in the cambium, the other becoming a xylem mother cell
 d, e: both cells begin to increase in diameter and length
 f, g, h: after a period of rest, the initial once again divides.....

13

木材解剖学 木材的形成：形成层细胞的分裂



形成层带=形成层原始细胞(1层)
 +木质部母细胞+韧皮部母细胞

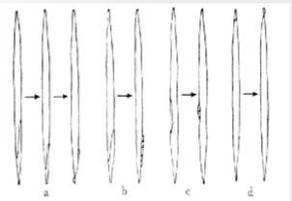
小组讨论：为什么树干的木质部（90%）明显多于韧皮部（10%）？
 木质部母细胞多、分裂次数多（7-10倍）、持续时间长

14

木材解剖学 木材的形成：形成层细胞的分裂

? 射线原始细胞从何而来？

纺锤形原始细胞占有形成层大部分,射线原始细胞是由纺锤形原始细胞分裂形成的。



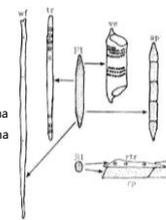
a: two single ray cells are formed through reduction of a short fusiform initial
 b: several new ray cells are formed by separation of the entire short fusiform initial
 c: two ray cells are formed on the side of a fusiform initial
 d: a new ray initial arising from pinching off the top of a fusiform initial

15

木材解剖学 木材的形成：新生木质部细胞的分化

轴向细胞

- 管胞 Tracheid
- 木纤维 Wood fiber
- 导管 Vessel
- 轴向薄壁组织 Axial parenchyma
Longitudinal parenchyma

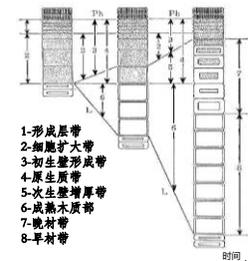
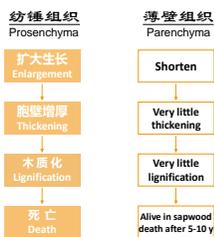


横向细胞

- 射线管胞 Ray tracheid
- 射线薄壁组织 Ray parenchyma

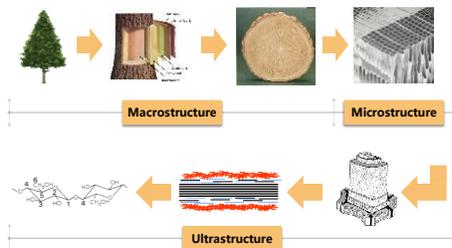
16

木材解剖学 木材的形成：新生木质部细胞的成熟



17

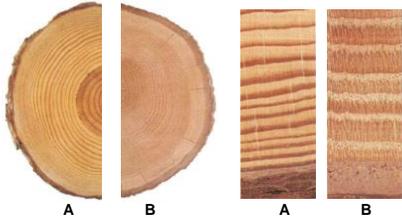
木材解剖学 木材的构造



18

木材解剖学 宏观构造

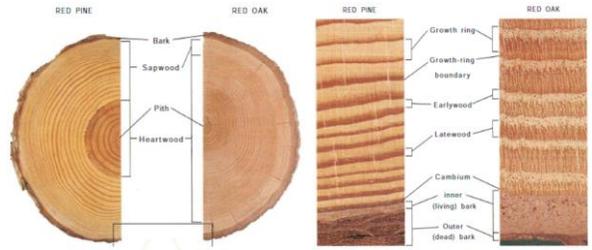
? A和B哪个是针叶材? 哪个是阔叶材?



小组讨论
你能否找到图片中的心、边材、生长轮、早、晚材、木射线、管孔、胞间道、轴向薄壁组织?

19

木材解剖学 宏观构造



20

木材解剖学 宏观构造

你需要弄清楚的一件事

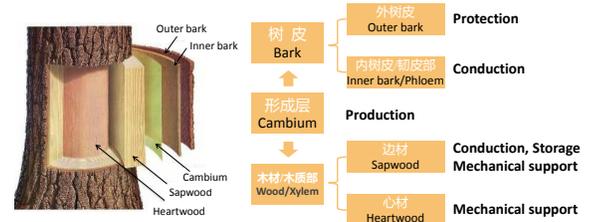
- 外树皮与内树皮、心材与边材的功能是什么?
- 心材的形成机理是什么? 为什么多数心材颜色较深?
- 生长轮与年轮的区别是什么? 一个生长周期能否形成多个轮界线?
- 树脂道的形成原因是什么? 基于该原因木材是否还有其它组织形成?



21

木材解剖学 宏观构造

外树皮与内树皮、心材与边材的功能是什么?

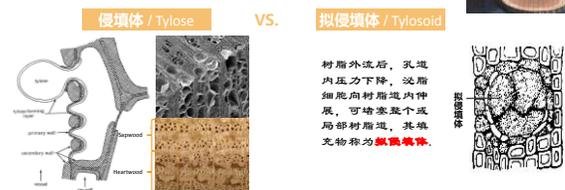


22

木材解剖学 宏观构造

心材的形成机理是什么? 为什么多数心材颜色较深?

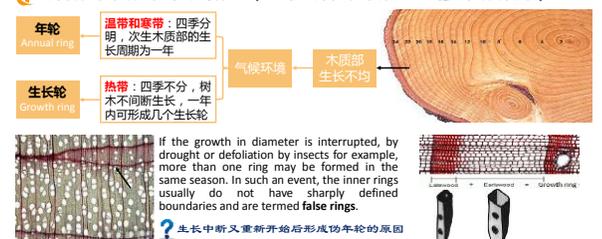
薄壁细胞由于水分和氧气的不足而死亡标志着心材的形成, 该过程中细胞腔内沉积单宁、色素、树脂(胶)及矿物质等抽提物, 并渗透到细胞壁中, 使木材颜色加深。



23

木材解剖学 宏观构造

生长轮与年轮的区别是什么? 一个生长周期能否形成多个轮界线?

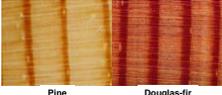


24

木材解剖学 宏观构造

树脂道的形成原因是什么？基于该原因木材是否还有其它组织形成？

Resin canals are tubular passages in wood that are actually intercellular spaces surrounded by special parenchyma cells called epithelial cells. These cells exude resin into the canals. The canals serve a protective function for the tree by exuding resin to seal off wounds caused by mechanical damage or boring insects.

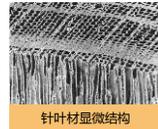


树脂 / Burls

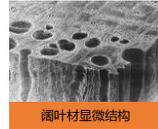
从常绿阔叶树来看，由于树木在受到伤害时，会在受伤部位形成树脂道，以保护树木免受虫害。树脂道是由受伤部位的细胞分泌树脂形成的。树脂道的形成与树木的防御机制有关。树脂道的形成与树木的防御机制有关。树脂道的形成与树木的防御机制有关。

25

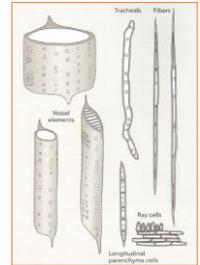
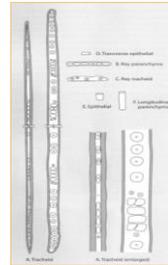
木材解剖学 微观构造



针叶材显微结构

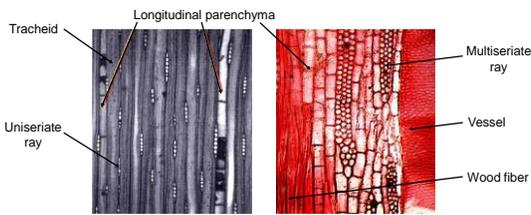


阔叶材显微结构



26

木材解剖学 微观构造



左、右两张图片哪个属于针叶材，哪个属于阔叶材？分别是什么物面？可以找到哪些细胞类型？

27

木材解剖学 微观构造

你需要弄清楚的几件事

- 木材中存在几种纵向管胞类型？它们属于针叶材还是阔叶材细胞？
- 阔叶材中存在几种木纤维？
- 针、阔叶材中木射线有何不同之处？
- 针、阔叶材中轴向薄壁组织的差异？



28

木材解剖学 微观构造

木材中存在几种纵向管胞类型？它们属于针叶材还是阔叶材细胞？

<p>轴向管胞 Longitudinal tracheid</p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ 壁厚 ▲ 形体长、两端锐 ▲ 具缘纹孔 	<p>索状管胞 Strand tracheid</p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ 壁薄 ▲ 形体短、砖形 ▲ 具缘纹孔 ▲ 纵向串联 	<p>树脂管胞 Resinous tracheid</p>
<p>导管状管胞 Vascular tracheid</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 主要存在于晚材小导管周围 ● 无穿孔、两端具缘纹孔相接，常具缘纹加厚 	<p>环管管胞 Vasicentric tracheid</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 主要存在于早材大导管周围 ● 常被压成扁平状、两端略钝，侧壁具缘纹孔 	

29

木材解剖学 微观构造

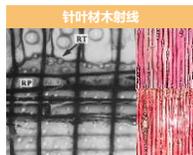
阔叶材中存在几种木纤维？

<p>纤维状管胞 Fiber-tracheid</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 标准的木纤维 ● 具缘纹孔 	<p>初型纤维 Libriform fiber</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 一种变异纤维，单独或与纤维管胞共同存在 ● 单纹孔、相对较小
<p>分隔纤维 Separate fiber</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 具有水平隔膜组织，常见于含较大单纹孔的初型纤维中，热带材典型特征 ● 功能与轴向薄壁细胞接近，可储藏淀粉等营养物质 	<p>胶质纤维 Gelatinous fiber</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 尚未完全木质化，内壁呈胶质状的纤维状管胞或初型纤维 ● 应拉木特征，干燥易翘曲开裂，锯解易夹锯起毛

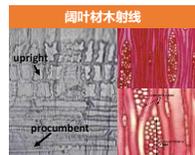
30

木材解剖学 微观构造

针、阔叶材中木射线有何不同之处？



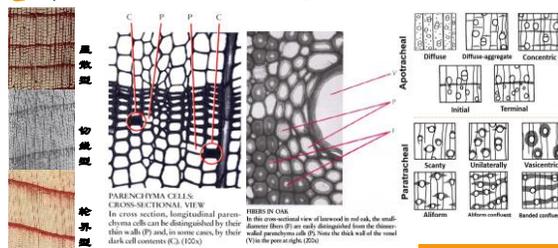
- 部分树种含射线管胞(Ray tracheid)
- 多数单列，部分树种含纺锤形木射线
- 均为横卧细胞



- 全部由射线薄壁细胞(Ray parenchyma)构成
- 多数多列
- 包括横卧、直立和方形细胞

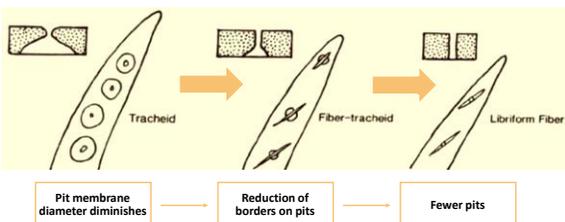
木材解剖学 微观构造

针、阔叶材中轴向薄壁组织的差异？

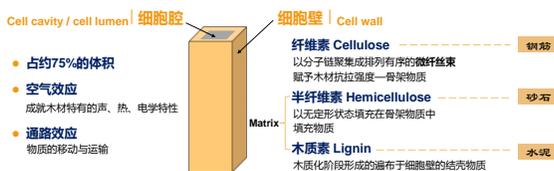


木材解剖学 微观构造

知识拓展：从管胞(针)到初型纤维(阔)的进化



木材解剖学 超微构造



木材的许多加工处理都是通过处理剂在细胞腔中的物理填充，或细胞壁聚合物之间发生反应而实现

木材解剖学 超微构造

针、阔叶材主要化学成分含量比较

主要化学成分	针叶材	阔叶材
纤维素	45%	45%
半纤维素	26%	34%
果糖葡萄糖-甘露糖	16%	5%
果木糖	9%	25%
木质素	29%	21%

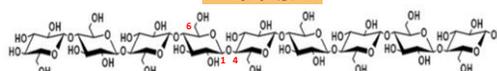
Table Schematic Classification of the Chemical Components of Cell Wall Substance in Normal Wood. Percentages Based on Oven-dry Weight.

- Primary components
 - Total polysaccharide fractions, expressed as holocellulose—60-85%
 - Cellulose—40-50%
 - Long-chain polymer with low solubility
 - Hemicellulose—20-35%
 - Noncellulose polysaccharides, these are readily soluble in dilute alkali and hydrolysable by dilute acids to component sugars and uronic acids
 - Lignin—15-35%
- Secondary components
 - Tannins
 - Volatile oils and resins
 - Gums, latex, alkaloids and other complex organic compounds including dyes and coloring materials
 - Ash—usually less than 1%

木材细胞壁中三种化学成分是由什么进行生物合成得到的？

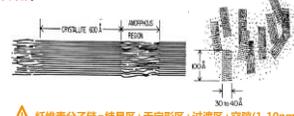
木材解剖学 超微构造

纤维素



纤维素是由吡喃型D-葡萄糖基在1,4位以β-苷键联结而成的线性高分子化合物，是一种不溶于水的均一聚糖。

纤维素聚集态两相理论：纤维素是由结晶区(Crystalline region)和非结晶区/无定形区(Noncrystalline/amorphous region)交错连接而成的两相体系。



纤维素分子链=结晶区+无定形区+过渡区+空隙(1-10nm)

木材解剖学 超微构造

基本纤维
Elementary fibril

纤维素分子链聚集而成的结构
宽3.5-5nm, 是组成细胞壁的最小单位

微纤维
Microfibril

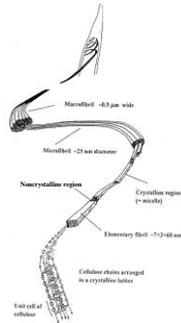
由基本纤维组成纤维状物质
宽10-30nm



纤丝
Fibril

粗纤丝
Macrofibril

薄层
Lamella



木材解剖学 超微构造

半纤维素

半纤维素是一种聚合度较低的不均一聚糖, 是一群复合聚糖的总称. 主链为线状结构, 并带有多种短支链.



聚半乳糖葡萄糖甘露糖 (针)

聚O-乙基基-4-O-甲基葡萄糖苷木糖 (阔)

木材解剖学 超微构造

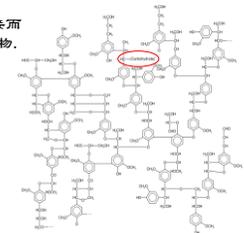
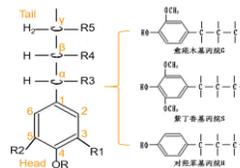
纤维素 VS. 半纤维素

聚糖	线型 高分子聚合物	化学反应 酸性、碱性降解 醚化、酯化、接枝共聚	氢键 吸湿与润胀
纤维素	单糖基	8000-10000	直链线形 带各种支链
半纤维素	多种糖基	200	两相结构 无定形态

木材解剖学 超微构造

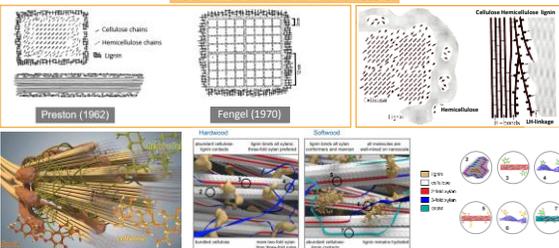
木质素

由苯基丙烷结构单元通过醚键和碳-碳键联接而成, 具有三维空间结构的芳香族高分子化合物.



木材解剖学 超微构造

细胞壁化学成分之间的结合



木材解剖学 超微构造

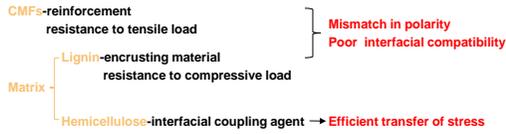
细胞壁化学成分之间的结合



Figure Distribution of lignin and polysaccharides on molecular level. This model for the S2 layers is based on studies by Sahlmén and coworkers and Larvinko and coworkers. Most of the lignin is believed to be located between glucosmannan and xylan, but there are also some direct connects between lignin and cellulose. In softwood covalent bonds between lignin and both hemicelluloses (glucosmannan and xylan) are frequent. In hardwood the glucosmannan content is very low and thus the LCC between lignin and xylans dominates. For both types of wood, the lignin covalently cross-links the different polysaccharides forming networks.

木材解剖学 超微构造

细胞壁化学成分之间的结合



木材解剖学 超微构造

细胞壁化学成分的堆积

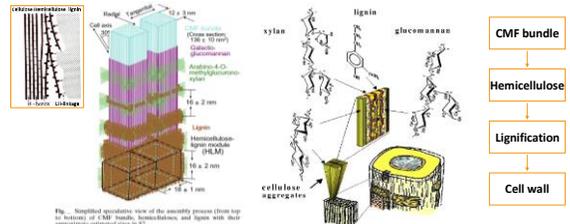
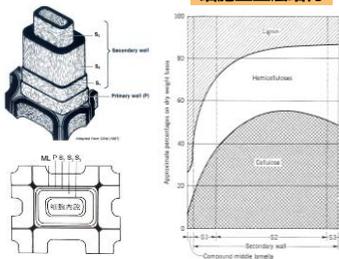


Fig. Simplified quantitative view of the assembly process (from top to bottom) of CMF bundles, hemicellulose and lignin with their approximate relative area in %.

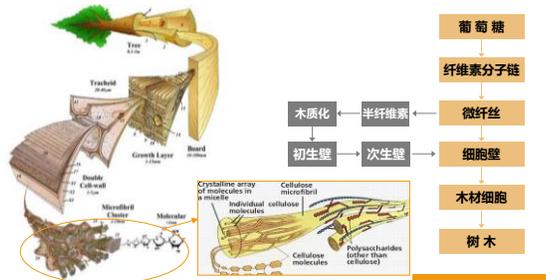
木材解剖学 超微构造

细胞壁壁层结构



复合胞间层木质素浓度最高, 但其50%仍分布在次生壁

木材解剖学 木材各级构造



木材解剖学 知识拓展：木材的空隙结构

EASTERN HEMLOCK AMERICAN BEECH REDWOOD TEAK 木材是一种多孔性材料

空隙种类	直径(μm)
树脂道	50-300
导管胞腔	20-400
管胞胞腔	20-30
木纤维胞腔	15
具缘纹孔纹孔室(针)	4-30
具缘纹孔纹孔口(针)	0.4-6
具缘纹孔纹孔小孔(针)	0.02-8
单纹孔纹孔小孔(针)	0.05-0.3
细胞壁中空隙	<0.01
微纤维间隙(阔)	<0.005

永久空隙
宏观空隙 能够用肉眼观察到的空隙
介观空隙 至少有一维处于纳米尺度
微观空隙 分子链断面数量级为最大起点

瞬时空隙

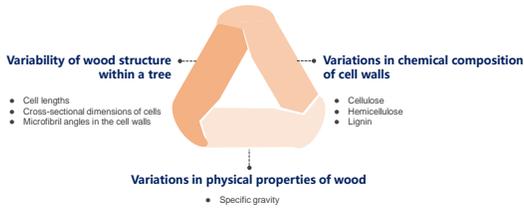
木材解剖学 木材解剖构造的变异

思考：木材解剖构造表现出树内变异性的原因？

“Variability of wood characteristics within individual trees is fundamentally related to changes resulting from aging of the cambium and modifications imposed on the cambial activity by environmental conditions.”
—Textbook of Wood Technology

高度方向
半径方向

木材解剖学 木材解剖构造的变异



高等木材学 2025 | 53

53

木材解剖学 木材解剖构造的变异

Variability of Wood structure

- In stem cross sections
- Among growth increments
- Within growth increments
- Along the stem length
- Branches and roots

Changes in the **cambial initials** themselves as they continues to function in the aging tree are an important cause of variation. **Postcambial development** of cells derived from the cambium is an additional major influence on pith-to-bark variation. The changes arising from these influences are expressed in the patterns of variation for **cell dimensions, cell wall organization, proportionate volumes of different kinds of cells, and the chemical composition** of the cell walls. As a consequence, the dependent physical properties of the wood, such as **specific gravity**, also change.



高等木材学 2025 | 54

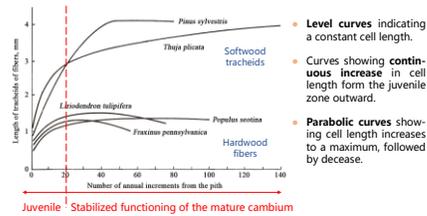
54

木材解剖学 木材解剖构造的变异

Variability of Wood structure

Cell length

- In stem cross sections
- Among growth increments
- Within growth increments
- Along the stem length
- Branches and roots



高等木材学 2025 | 55

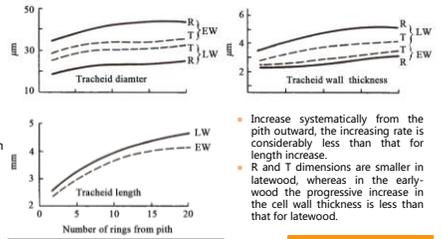
55

木材解剖学 木材解剖构造的变异

Variability of Wood structure

Cross-sectional dimensions

- In stem cross sections
- Among growth increments
- Within growth increments
- Along the stem length
- Branches and roots



高等木材学 2025 | 58

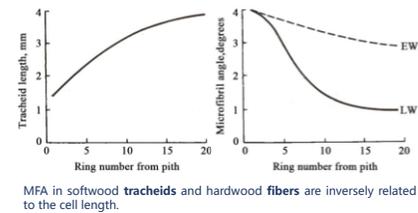
58

木材解剖学 木材解剖构造的变异

Variability of Wood structure

Microfibril angle

- In stem cross sections
- Among growth increments
- Within growth increments
- Along the stem length
- Branches and roots



高等木材学 2025 | 59

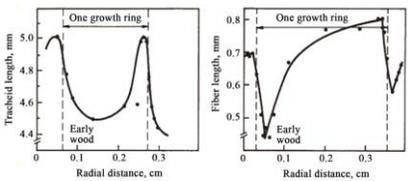
59

木材解剖学 木材解剖构造的变异

Variability of Wood structure

Cell length

- In stem cross sections
- Among growth increments
- Within growth increments
- Along the stem length
- Branches and roots



Cell lengths are at a minimum within the earlywood zone, increasing to a maximum within the latewood, or near the transition from earlywood to latewood, and finally decreasing at the end of growth period.

高等木材学 2025 | 60

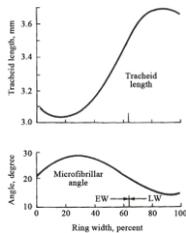
60

木材解剖学 木材解剖构造的变异

Variability of Wood structure

- In stem cross sections
- Among growth increments
- Within growth increments
- Along the stem length
- Branches and roots

>> Microfibril angle



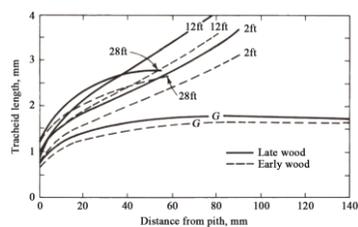
An inverse relation to cell length as well. MFA varies across the growth increment from a maximum in the earlywood to a minimum in the latewood.

木材解剖学 木材解剖构造的变异

Variability of Wood structure

- In stem cross sections
- Among growth increments
- Within growth increments
- Along the stem length
- Branches and roots

>> Cell length

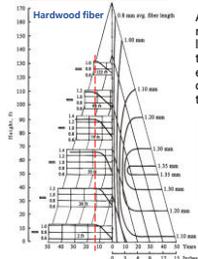


木材解剖学 木材解剖构造的变异

Variability of Wood structure

- In stem cross sections
- Among growth increments
- Within growth increments
- Along the stem length
- Branches and roots

>> Cell length



At the base the fibers are slightly more than 1mm long. A max length of 1.35mm is reached at the 50ft level. Above this elevation the fiber lengths decrease to less than 0.8mm at the top of the tree.

⚠ In general it can be stated that the maximum length for tracheid or fibers occurs in the outer part of the trunk in a zone between 1/3 and 1/2 the tree height above ground.

木材解剖学 木材解剖构造的变异

Variability of Wood structure

- In stem cross sections
- Among growth increments
- Within growth increments
- Along the stem length
- Branches and roots

>> Cross-sectional dimensions

Softwood tracheids

Increase in the lower trunk and then decrease toward the top in a pattern resembling that for tracheid-length variation along the stem axis.

Hardwood fibers

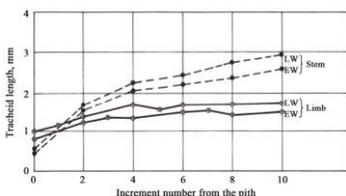
Decrease from base to top of the tree.

木材解剖学 木材解剖构造的变异

Variability of Wood structure

- In stem cross sections
- Among growth increments
- Within growth increments
- Along the stem length
- Branches and roots

Branches, roots, stumps, and tops of trees together constitute about 25% of the dry weight of a tree and offer a substantial source of additional wood for pulping. However, the tracheids and fibers from these parts differ from those in the trunk of the same tree.

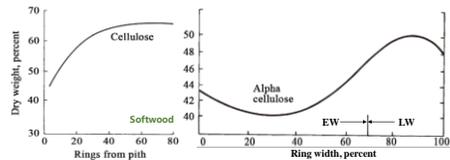


木材解剖学 木材解剖构造的变异

Variations in chemical composition

- Polysaccharides
- Cellulose
- Hemicellulose
- Lignin

- ▲ Along vertical axis from the base upward cellulose content decreases about 2%.
- Cellulose content in hardwood indicates little change with age in either radial or axial direction in the tree trunk.



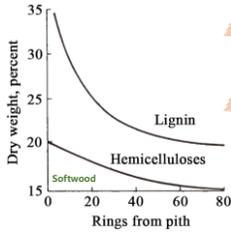
Increase from pith to bark in a manner resembling the changes in tracheid length.

Cellulose in the latewood not only is higher in terms of percentage but also has a greater degree of polymerization, higher packing density, and a higher degree of crystallinity than that in the earlywood.

木材解剖学 木材解剖构造的变异

Variations in chemical composition

- Polysaccharides
- Cellulose
- Hemicellulose
- Lignin



Reduction from pith to bark and top to bottom of the tree.

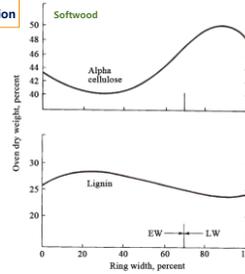
Xylose in the earlywood appears to be 1 or 2% higher than in the latewood portion; the percentages are reversed for mannose. No difference is evident between earlywood and latewood for galactose, arabinose, and glucose in young trees.

69

木材解剖学 木材解剖构造的变异

Variations in chemical composition

- Polysaccharides
- Cellulose
- Hemicellulose
- Lignin



Lignin content shows a general decrease from pith to bark; in axial direction lignin increases a few percent from base to top of the tree.

General pattern of variation in lignin content is sinusoidal within the growth increment, with maximum amounts found in the earlywood and minimum in the latewood.

In hardwood, in both radial and vertical axes of the stem, lignin contents vary only slightly.

70

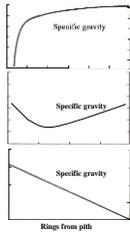
木材解剖学 木材解剖构造的变异

Variation in specific gravity

- In stem cross sections
- Among growth increments
- Within growth increments

Specific gravity has been widely used in studies of variation of wood because it can be measured fairly easily and shows good correlations with cellular characteristics (cell length, cell diameter, cell wall thickness, the presence of extractives etc).

- Type I**
Increase from the pith to the bark, predominant.
- Type II**
Decrease outward from the pith, then increase toward the bark.
- Type III**
Higher at the pith than at the bark.



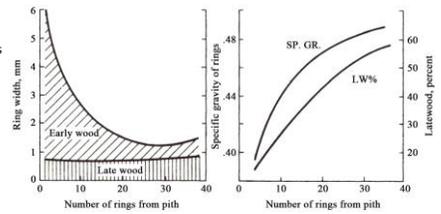
72

木材解剖学 木材解剖构造的变异

Variation in specific gravity

- In stem cross sections
- Among growth increments
- Within growth increments

? 以下针叶材比重曲线属于哪种类型? 其形成原因是什么?



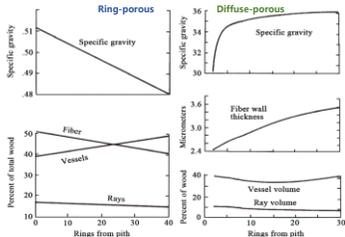
73

木材解剖学 木材解剖构造的变异

Variation in specific gravity

- In stem cross sections
- Among growth increments
- Within growth increments

? 以下两种阔叶材比重曲线属于哪种类型? 形成原因是什么?

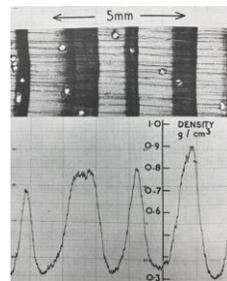


74

木材解剖学 木材解剖构造的变异

Variation in specific gravity

- In stem cross sections
- Among growth increments
- Within growth increments



Cyclic with minimum values in earlywood and maximum in latewood. Abrupt transitions are characterized by steep slopes.

75

木材物理学 问题引入



高等木材学 2025 | 89

77

木材物理学 问题引入



？ 液态水是木材中唯一的水分存在形式吗？
 ？ 木制品的变形缺陷是木材中的液态水造成的吗？

高等木材学 2025 | 89

78

木材物理学 木材中的水分



自然界的水与木材中的水



几种特殊的水分状态



木材的吸湿性

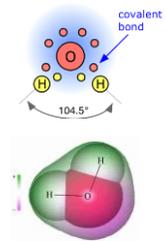


木材中水分的研究方法

高等木材学 2025 | 90

79

木材物理学 自然界的水与木材中的水



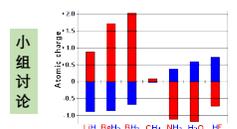
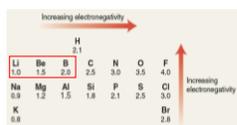
高等木材学 2025 | 91

80

木材物理学 自然界的水与木材中的水

知识拓展：电负性 (electronegativity)

The tendency of an atom to **attract** a shared electron towards itself.



Bond type

(a) **Nonpolar covalent bond**
 Bonding electrons shared equally between two atoms. No charges on atoms.
 Nonpolar: $\Delta EN < 0.4$
 Polar: $0.5 < \Delta EN < 1.7$
 Ionic: $\Delta EN > 1.7$

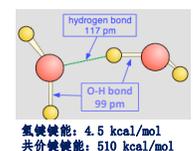
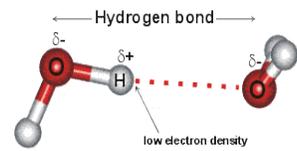
(b) **Polar covalent bond**
 Bonding electrons shared unequally between two atoms. Partial charges on atoms.

(c) **Ionic bond**
 Complete transfer of one or more valence electrons. Full charges on resulting ions.

高等木材学 2025 | 92

81

木材物理学 自然界的水与木材中的水

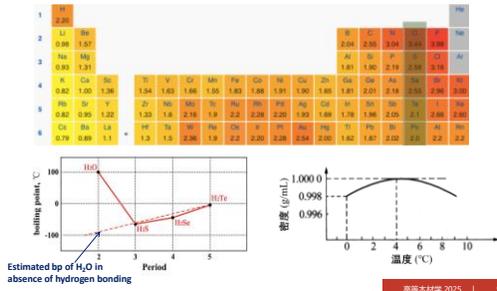


A free pair of electrons on one water molecule might be able to **exert sufficient force** on a hydrogen held by a pair of electrons on another water molecule to **bind the two molecules together**.

高等木材学 2025 | 93

83

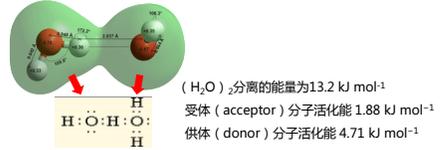
木材物理学 自然界的水与木材中的水



84

木材物理学 自然界的水与木材中的水

气态水分子：单个 H_2O 分子或二聚体(dimer)形式存在。



水蒸气 or 水汽?

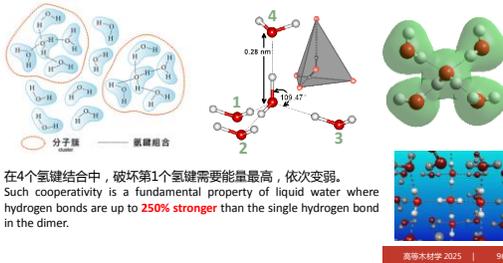
水蒸气: 每千个自由水分子中有1个水分子二聚体
水汽: 每20个自由水分子中有1个水分子二聚体

高等木材学 2025 | 95

85

木材物理学 自然界的水与木材中的水

液态水分子：几个水分子通过氢键结合形成 $(H_2O)_n$ 。



86

木材物理学 自然界的水与木材中的水

液态水分子的表面张力(surface tension)与润湿性(wetting)

物理 } 结构 } 本质
化学 }
表面能差异 }

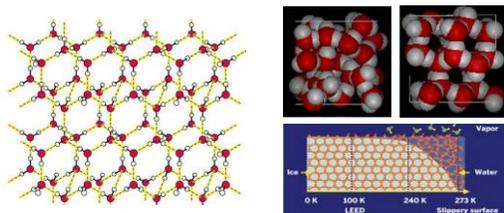
疏水性 Hydrophobicity
亲水性 Hydrophilicity

高等木材学 2025 | 97

87

木材物理学 自然界的水与木材中的水

固态水分子(冰)：水分子大范围地以氢键联结，形成疏松的晶体，在结构中存在许多空隙，造成体积膨胀，密度减小，因此冰能浮在水面上。



89

木材物理学 自然界的水与木材中的水

吸水性 Water absorption VS. **吸湿性 Moisture adsorption**

自由水 (Free water)

- 存在于细胞腔和细胞间隙中
- 与木材结合不紧密，相互作用微弱
- 对物理、力学性质几乎无影响

吸附水/结合水 (Adsorbed/bound water)

- 存在于细胞壁无定形区中
- 通过氢键与游离羟基形成牢固的结合
- 与物理、力学性质密切相关

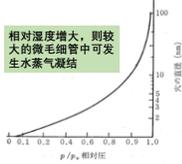
高等木材学 2025 | 100

90

木材物理学 自然界的水与木材中的水

然而这并不是事实的全部

毛细管水 (capillary water) : 在相对湿度较高条件下凝结在木材毛细管系统中的水分, 主要存在于细胞尖端以及纹孔塞纤维处。



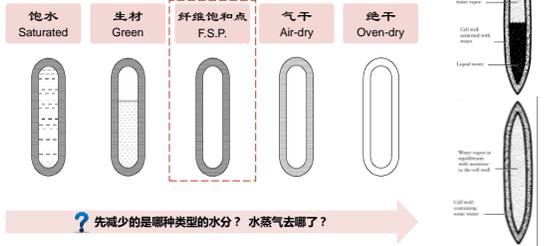
相对湿度增大, 则较大的微毛细管中可发生水蒸气凝结

开尔文公式
$$r = \frac{2\gamma M}{\rho RT \ln h}$$

r-毛细管半径 h-相对湿度
 γ , M, ρ -液体的表面张力、摩尔质量、密度

91

木材物理学 几种特殊的水分状态



92

木材物理学 几种特殊的水分状态

知识拓展: 纤维饱和点(fiber saturation point)-1

<木材学>

木材的细胞壁中充满水分, 而细胞腔中不存在自由水的临界状态。

Tiemann (1906)
 Moisture content when lumens are empty of liquid water, cell walls begin to dry and strength begins to increase.

Araujo et al. (1992)

干燥过程中从细胞壁中解吸的水分仍可以液态水形式存在于细胞腔中。

Stamm(1971)
 三个现象往往不发生在同一含水率。

93

木材物理学 几种特殊的水分状态

知识拓展: 纤维饱和点(fiber saturation point)-2

Stamm (1929,1971)

MC when a strong change in physical property of wood (shrinkage, strength) occurs, around 30%.

- Sorption isotherm extrapolation (Berry and Roderick 2005)
- Phase boundary calculation (Samuel 2016)

→ 10% ↑

Stone & Scallan (1967)

MC corresponding to the amount of water contained within the saturated cell wall.

Hoffmeyer et al. (2011)

FSP values are in the 38.5-42.5% MC range for different softwood species.

- Solute exclusion method (Hill et al. 2005)
- Pressure plate technique (Stone and Scallan 1967)

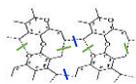
94

木材物理学 几种特殊的水分状态

知识拓展: 纤维饱和点(fiber saturation point)-3

Engelund et al. A critical discussion of the physics of wood-water interactions. Wood Sci Technol, 2013, 47(1):141-161

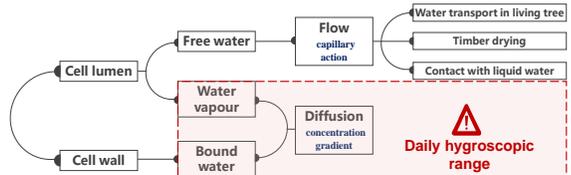
FSP is not a state reached at a certain moisture content, but a gradual transition from the situation where new water molecules entering the cell wall result in breaking of intra- and intermolecular (up to about 30%) to the situation (about 30-40%) where new water molecules are accommodated in the cell wall without breaking further cell wall polymer H-bonds.



95

木材物理学 几种特殊的水分状态

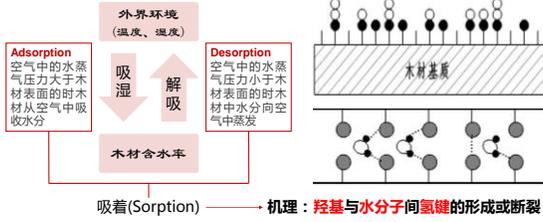
Water moves by two main mechanisms: capillary action (liquid) and diffusion of bound water (vapor). Capillary action causes free water to flow through cell cavities and the small passageways that connect adjacent cell cavities. Diffusion of bound water moves moisture from areas of high concentration to areas of low concentration (Wood Handbook, 1999).



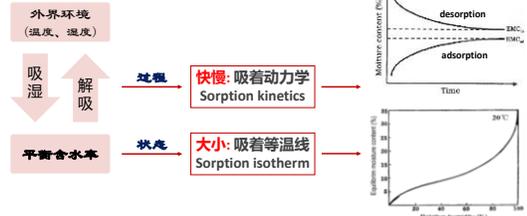
96

木材物理学 木材的吸湿性

木材具有吸湿性 (Hygroscopicity), 可以从空气中吸收水分或向空气中蒸发水分。

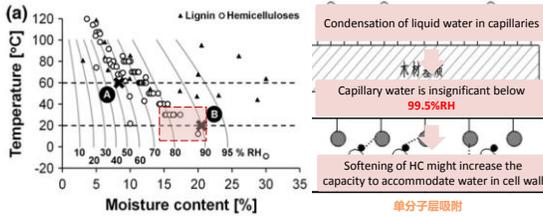


木材物理学 木材的吸湿性



木材物理学 木材的吸湿性

吸着等温线: 一定温度时, 不同相对湿度下木材平衡含水率的大小, 呈S形。



思考: 木材中的多分子吸着水是否在单分子吸着水饱和之后才能形成?

木材物理学 木材的吸湿性

知识拓展: 吸着等温线的测定 - 温度和湿度的实现

Temperature Conditioning oven

Relative humidity

- Sulfuric acid solutions
- Saturated salt solutions

RH	11%	22%	33%	47%	62%	75%	92%
Salt solution	LiCl	CH ₃ COOK	MgCl ₂	LiNO ₃	NaBr	NaCl	Pb(NO ₃) ₂

思考: 用恒温恒湿箱进行调湿存在什么问题?

木材物理学 木材的吸湿性

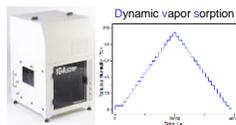
知识拓展: 吸着等温线的测定 (续) - 一步法与多步法

Sorption EMC at several RHs for yellow birch

RH	40%	50%	60%	70%	80%
Single step	5.47	7.47	9.11	10.54	14.19
Multistep	5.16	7.05	8.6	10.19	13.69

一般而言, 一步法比多步法获得的平衡含水率高

小组讨论: 一步法与多步法的实验特点?



Glass SV, et al. Short hold times in dynamic vapor sorption measurements mischaracterize the equilibrium moisture content of wood. Wood Sci Technol. 2016.

木材物理学 木材的吸湿性

水分吸着理论: 对吸着等温线的理论预测和定量描述。

Moisture sorption theory

- Surface phenomenon: BET / Dent
- Solution phenomenon: Hailwood-Horrobin

$$h/m = A + Bh - Ch^2$$

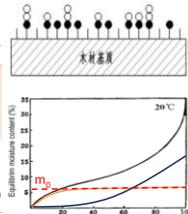
Plot of h/m against h for resorption and desorption based on the mean values for the woods and barks of ten species, Okoh and Skaar (1980)

木材物理学 木材的吸湿性

水分吸着理论的数学形式

$$h/m = A + Bh - Ch^2$$

模型	种类	名称	缩写	计算公式
H-H	单分子吸着水	水合水 Hydrated water	m_h	$m_h b_1 b_2 h / (1 + b_1 b_2 h)$
	多分子吸着水	溶解水 Dissolved water	m_d	$m_d b_1 h / (1 - b_2 h)$
Dent	单分子吸着水	初级吸着水 Primary water	m_1	$m_1 b_1 h / (1 - b_2 h + b_1 h)$
	多分子吸着水	次级吸着水 Secondary water	m_2	$m_2 b_1 b_2 h^2 / (1 - b_2 h) (1 - b_2 h + b_1 h)$



高等木材学 2025 | 113

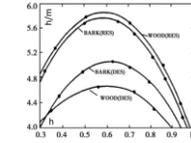
103

木材物理学 木材的吸湿性

水分吸着理论的应用

- 全吸湿范围内平衡含水率的理论值。
- 单分子吸着水、多分子吸着水含水率。
- 单分子吸着水完全布满木材内表面时的含水率。

Wood-res.		Bark-res.		Wood-des.		Bark-des.	
RH/%	MC/%	RH/%	MC/%	RH/%	MC/%	RH/%	MC/%
37.0	7.01	32.3	6.59	35.0	8.20	38.5	8.47
51.4	8.95	50.6	8.91	56.4	12.15	49.8	10.17
71.2	12.55	65.9	11.61	72.8	15.95	63.3	12.46
86.2	17.13	73.3	13.31	81.8	19.11	71.1	14.13



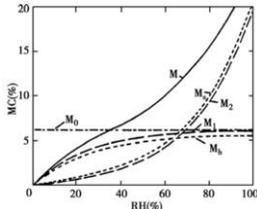
	A	B	C	m_h	b_1	b_2
Wood-res.	1.64	14.3	12.1	5.94	10.26	0.777
Bark-res.	1.48	14.6	12.4	5.91	11.48	0.789
Wood-des.	2.23	8.3	7.0	8.70	5.15	0.712
Bark-des.	1.18	12.5	10.1	6.94	11.5	0.7

高等木材学 2025 | 114

104

木材物理学 木材的吸湿性

水分吸着理论比较



Mean sorption isotherms for wood of ten species and calculated m_1 , m_2 , m_h , m_d and m_o .

- Dent 中 $m_1 > H-H$ 中 m_h
- Dent 中 $m_2 < H-H$ 中 m_d

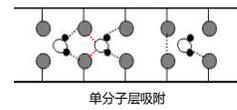
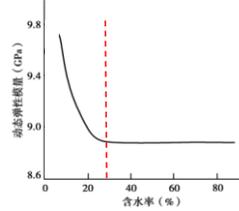
Simpson (1973)
H-H sorption theory out of ten selected models gave the best fit to experimental data.

高等木材学 2025 | 115

105

木材物理学 木材的吸湿性

知识拓展：含水率与木材的化学性质

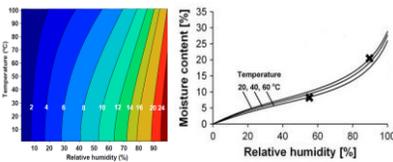


高等木材学 2025 | 116

106

木材物理学 木材的吸湿性

吸着等温线：温度的影响



温度升高，EMC下降，木材的吸着等温线下移

温度升高，水分子的势能增加，从而水分更容易蒸发。

温度升高，吸着基团的数量减少。

高等木材学 2025 | 117

107

木材物理学 木材的吸湿性

吸湿滞后 (Sorption hysteresis)：一定大气条件（温度、湿度）下，木材的吸湿平衡含水率低于解吸平衡含水率的现象。

吸湿滞后的评估-滞后率

- $A/D = EMC_{ad} / EMC_{de} (\leq 1)$
- A/D ：吸湿滞后！
- $A/D = 0.75 - 0.9$ ，并受到相对湿度、温度等因素的影响

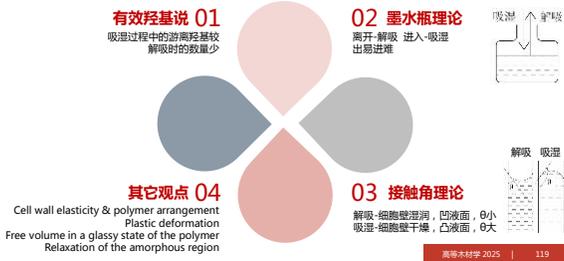
RH	EMC_{ad}	EMC_{de}	A/D
40%	4.02	5.47	0.734
50%	6.10	7.47	0.817
60%	7.46	9.11	0.819
70%	8.65	10.54	0.821
80%	12.00	14.19	0.846
Mean	/	/	0.807

高等木材学 2025 | 118

108

木材物理学 木材的吸湿性

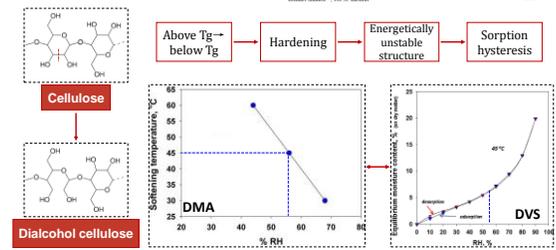
吸湿滞后的机理



110

木材物理学 木材的吸湿性

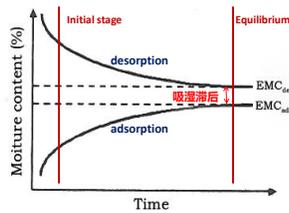
吸湿滞后的机理 (番外-软化)



112

木材物理学 木材的吸湿性

水分吸着动力学



高师木材学 2025 | 120

113

木材物理学 木材的吸湿性

水分吸着动力学: 影响因素与数学模型

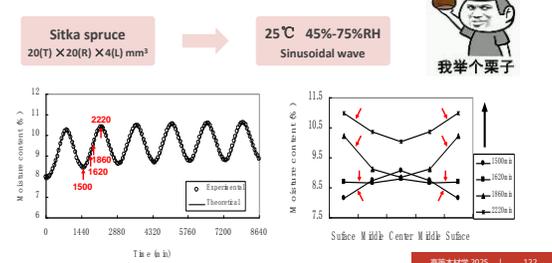
文献	模型	论点
Kelly & Hart (1970)	$\partial m / \partial t = D(\partial^2 m / \partial x^2)$	扩散论
Nakano (1994)	$m = m_0 / (1 + \exp[-r(\log t - c)])$	反应动力学
Zhang et al (2007)	$m = m_\infty - (m_\infty - m_0) \exp(-\alpha t^b)$	两相论
Hill (2010)	$m = m_0 + m_1 [1 - \exp(-t/t_1)] + m_2 [1 - \exp(-t/t_2)]$	两相论
Ma et al (2010)	$m_1 = m_{1-1} + a [h - \exp(K_1 K_2 m_1^{-1} + K_3)] \cdot t$ $m_2 = D(m_{2-1} - 2m_2 + m_{2+1}) / \Delta l^2 + (m_2)_{t-1}$	扩散论

高师木材学 2025 | 121

114

木材物理学 木材的吸湿性

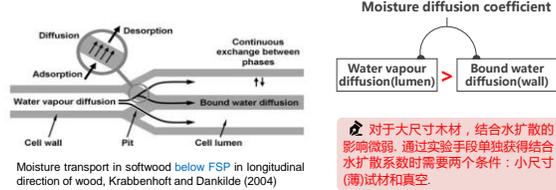
水分吸着动力学: 影响因素与数学模型



115

木材物理学 木材的吸湿性

通常情况下, 木材中水分的移动包括三个过程: 细胞腔中水蒸气的扩散, 细胞壁中结合水的扩散、各相之间的吸着。

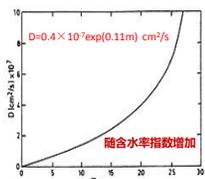


高师木材学 2025 | 123

116

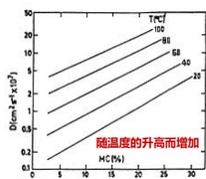
木材物理学 木材的吸湿性

结合水扩散系数影响因素：含水率与温度



Bound water diffusion coefficient against mean MC at 26.7 °C of Sitka spruce in longitudinal direction, Stamm (1959)

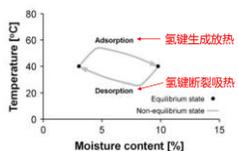
Karol, Robert, et al (2015): An increase in adsorbed water content leads also to an increase in diffusion coefficient by increasing the distance between microfibrils



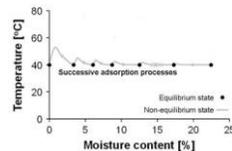
Transverse bound water diffusion coefficient (log scale) as a linear function of MC for several temperatures

木材物理学 木材的吸湿性

水分吸附热力学：温度的变化



Adsorption and desorption for small specimens of White oak in vacuum between 3.0-9.8% MC, Kelly and Hart (1970)



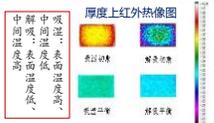
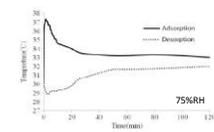
Successive adsorption for small specimens of Klinki pine in vacuum from 0 to 22.5% MC, Christensen and Kelsey (1959)

吸湿初期温度升高、解吸初期温度降低，其大小真空条件及初始含水率的影响。

木材物理学 木材的吸湿性

水分吸附热力学：温度的变化

Spruce/Poplar 20(T) X20(R) X2(L) mm³ 30°C OD: adsorption 22%(47%) 75%RH FSP: desorption



厚度上红外热像图 (精度±0.1°C, 均匀度±0.3°C)

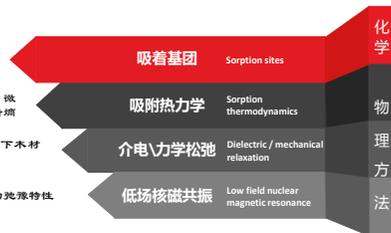
木材物理学 木材中水分的研究方法

基于化学成分分子量和实验测量表征基数量

从能量角度研究木材与水分作用：微分吸热、自由能变化、微分吸热焓

外界周期性作用（电场、外力）下木材中水分响应的时域性质

低场核磁共振下木材中水分孔隙的弛豫特性

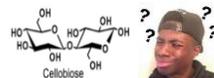


木材物理学 木材中水分的研究方法

吸着基团：计算与测量

羟基数量：半纤维素 > 纤维素 (2/3不可及) 木质素？

Wood polymer	Formula unit	Molecular mass [g/mol]	OH-groups	OH concentration [mmol/g]
Cellobiose	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	324	6	18.5 (3/4)
Xylan ^a	C ₁₀ H ₁₈ O ₅	833	12	14.4
Glucomannan ^b	C ₁₆ O ₃₂ H ₅₄	795-1,049	9-15	8.6-18.8
Lignin ^c	C ₁₀ H ₈ O ₃	3,029	24	7.9
Lignin ^d	C ₁₇ O ₆ H ₃₀	5,177	39	7.5
Lignin ^e	C ₁₀ O ₁₄ H ₁₅	5,713	45	7.9



- 针叶材的平均值约为8.6mmol/g.
- FSP=40%mc时，每个羟基平均含有2.6个水分子.
- 未考虑空间位阻，计算值仅为理论上限.

Hill & Jones (1996)

利用酸酐取代游离羟基 → 木材平均含吸着基团(5.7±0.4)mmol/g → 每个羟基平均含有3.9个水分子

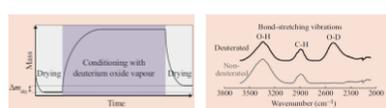
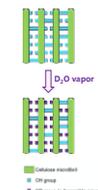
木材物理学 木材中水分的研究方法

吸着基团：计算与测量

重水置换OH→OD

绝对可及度：可及羟基浓度 (mmol/g)

相对可及度：可及羟基比例 (%)

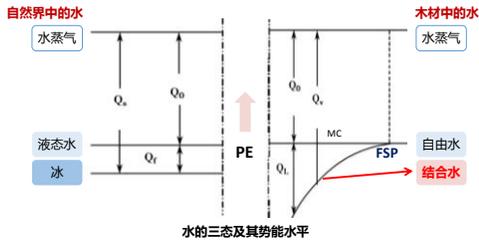


$$OH_{acc} = \frac{\Delta m_{dry}}{m_{0,dry} - \Delta m_{hydrogen}}$$

$$OH_{acc} = \frac{\int Peak OD}{\int Peak OD + \int Peak OH}$$

木材物理学 木材中水分的研究方法

吸附热力学：本质



124

木材物理学 木材中水分的研究方法

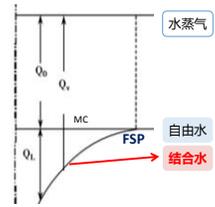
吸附热力学：微分吸着热 (Differential heat)

结合水与自由水之间的势能差

$$Q_L = Q_V - Q_0$$

Q_V -1g结合水从细胞壁蒸发需要的热量

Q_0 -1g自由水蒸发需要的热量 (汽化热)



微分吸着热表示水分子与木材实质间的结合能， Q_L 越大说明水分子与木材实质有越强的结合

思考：利用该公式能否直接计算出微分吸着热？

125

木材物理学 木材中水分的研究方法

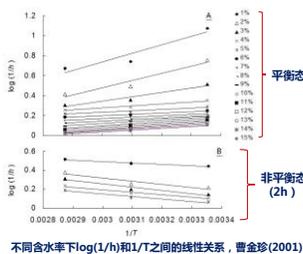
吸附热力学：微分吸着热的计算

克劳斯-开普勒公式

$$Q_L = 0.254 [d \log(1/h)/d(1/T)]$$

获得 Q_L 需要测量哪些参数？

测量不同温度下的水分吸着过程曲线，获得同一含水率对应的相对湿度和温度，作 $\log(1/h)-1/T$ 线性图，由斜率得微分吸着热。



不同含水率下 $\log(1/h)$ 和 $1/T$ 之间的线性关系，曹金珍(2001)

126

木材物理学 木材中水分的研究方法

吸附热力学：自由能变化和微分吸着热

自由能变化

$$\Delta G = (RT/18) \ln(1/h)$$

表示水分子润胀木材、切断木材分子间氢键而裸露木材吸着点所需要做的功。



微分吸着热

$$T\Delta S = Q_L - \Delta G$$

揭示吸着在木材实质上水分子排列的规律性， $T\Delta S$ 为负表示吸着水分子排列比液态水分子无规则， $T\Delta S$ 增加说明排列越来越有序化。

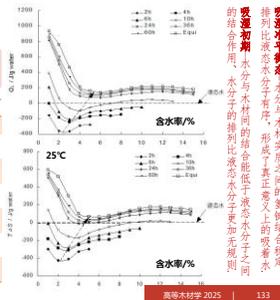
127

木材物理学 木材中水分的研究方法

吸附热力学：实验例

西藏云杉 35(T) X 35(L) X 5(l) mm³ 25°C \ 50°C \ 75°C 20%、40%等8种RH

Time /h	MC /%	Q / J/g water	ΔG / J/g water	$T\Delta S$ / J/g water	
1h	25	157.5	140.7	191.0	161.9
	50	358.6	67.9	140.3	88.7
	75	363.9	45.4	114.7	69.7
	20%	291.3	32.8	87.6	53.3
	40%	276.3	20.3	70.5	37.7
	75%	-	-	-	-
2h	25	-	-	-	-
	50	-	-	-	-
	75	-	-	-	-
	20%	-	-	-	-
	40%	-	-	-	-



128

木材物理学 木材中水分的研究方法

松弛：本质



129

木材物理学 木材中水分的研究方法

松弛：影响因素

- 刚性分子：损耗小
- 柔性分子：损耗大
- 侧链数量和大小：增加损耗
- 频率低：跟不上变化，损耗小
- 频率高：来不及响应，损耗小
- 频率适当：损耗峰
- 温度低：来不及响应，损耗小
- 温度高：跟不上变化，损耗小
- 温度适当：损耗峰

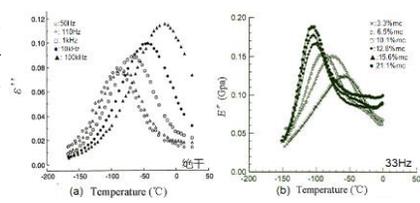


130

木材物理学 木材中水分的研究方法

松弛：温度谱实验例

伯醇羟基的旋转取向
频率增加，损耗因子增加



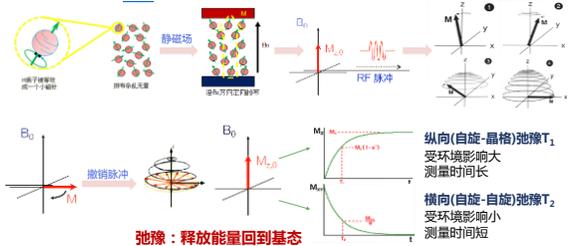
伯醇羟基+结合水的运动
向低温侧移动
含水率增加，损耗因子增加

云杉介电损耗(a)和力学损耗(b)的温度谱(横山操, 1996 & 1999)

131

木材物理学 木材中水分的研究方法

低场核磁共振：本质

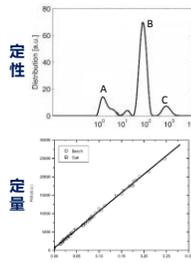


高师木材学 2025 | 137

132

木材物理学 木材中水分的研究方法

低场核磁共振：实验例1-水分的定性与定量



T₂ distribution and assignments of saturated Norway spruce, Thygesen and Elder (2008)

弛豫时间	水分归属
1-10ms	吸着水-A
10-100ms	晚材管胞自由水-B
>100ms	早材管胞自由水-C



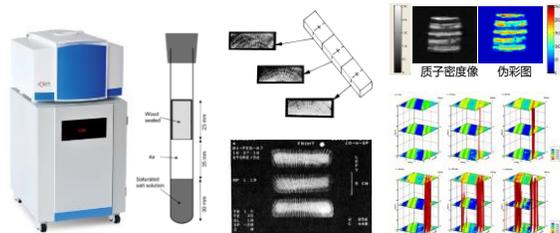
- ❗ T₂越短，木材对水分的束缚越强-反映水分子在木材中的存在状态。
- ❗ 针叶材树脂对NMR信号有影响，阔叶材T₂分布更复杂。

高师木材学 2025 | 138

133

木材物理学 木材中水分的研究方法

低场核磁共振：实验例2-水分的分布与移动



高师木材学 2025 | 139

134

木材物理学 木材中水分的研究方法

低场核磁共振：实验例3-FSP

总含水率 (%)	结合水		细胞壁微孔水		自由水	
	T ₂ (ms)	MC (%)	T ₂ (ms)	MC (%)	T ₂ (ms)	MC (%)
114.10	1.07	28.83	12.68	8.73	67.65	76.54
40.15	1.02	28.13	11.82	1.13	60.08	12.02
35.70	1.00	27.25	14.37	1.51	60.48	7.71
32.03	1.00	26.74	13.78	1.02	54.15	4.62
28.54	1.00	26.11	13.84	0.96	46.13	1.92
25.15	1.00	24.34	14.36	0.52	47.26	0.51
21.88	0.96	21.46	11.62	0.34	53.50	0.08



- ❗ 当总含水率降到40%以下时，结合水即开始解吸；在总含水率20%时，自由水才蒸发殆尽。
- ❗ 随着总含水率的下降，结合水、自由水的T₂减少。

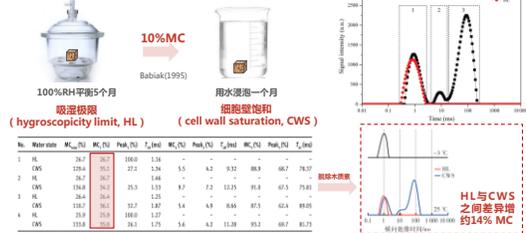
马尔妮, 王翌, 李想, 杨敬敏. 基于LF-NMR的木材干燥过程中水分状态变化. 林业科学, 2017, 53(6):111-117

高师木材学 2025 | 140

135

木材物理学 木材中水分的研究方法

低场氢质子核磁共振：实验例3-FSP(番外)

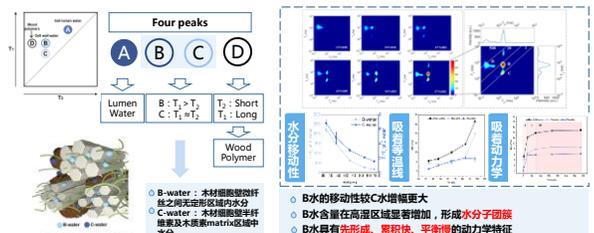


Li, J.Y., Ma, E.N., Yang, T.T. Differences between hygroscopic limit and cell wall saturation investigated by LF-NMR on Southern pine (*Pinus spp.*). 2019. Holzforchung, 73, 911-921.
李京宇, 马尔妮, 杨婷婷. 热处理及脱木质素对南方松木材吸湿极限与细胞壁饱和状态的影响. 2021. 林业工程学报, 6, 61-68.

136

木材物理学 木材中水分的研究方法

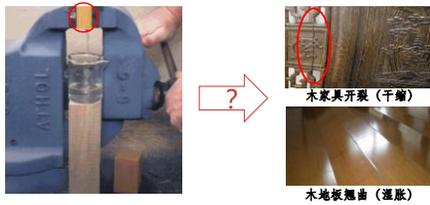
低场氢质子核磁共振：实验例4-二维核磁



Li, J.Y., Ma, E.N. 2D time-domain nuclear magnetic resonance (2D TD-NMR) characterization of cell wall water of *Fagus sylvatica* and *Pinus taeda* L. 2022. Cellulose, 29, 8491-8508.

137

木材物理学 问题一的解决

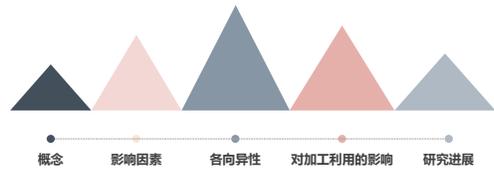


液体水是木材中唯一的水分存在形式吗？
木制品的变形缺陷是木材中的液体水造成的吗？

高等木材学 2025 | 141

138

木材物理学 木材的干缩湿胀



高等木材学 2025 | 142

139

木材物理学 木材的干缩湿胀

所谓干缩湿胀 (Hygroexpansion)

在绝干和纤维饱和点之间的含水率范围内，由于水分进出木材细胞壁的非结晶领域，引起微纤维间水层变厚而膨胀或变薄而收缩，导致细胞壁尺寸变化，最终造成木材整体尺寸变化的现象。



Questions: please write several keywords (no more than six) to define hygroexpansion

高等木材学 2025 | 143

140

木材物理学 木材的干缩湿胀

所谓干缩湿胀 (Hygroexpansion)

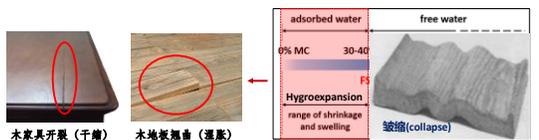
在绝干和纤维饱和点之间的含水率范围内，由于水分进出木材细胞壁的非结晶领域，引起微纤维间水层变厚而膨胀或变薄而收缩，导致细胞壁尺寸变化，最终造成木材整体尺寸变化的现象。



141

木材物理学 木材的干缩湿胀

成分1: 含水率在绝干态与纤维饱和点之间



成分2: 水分

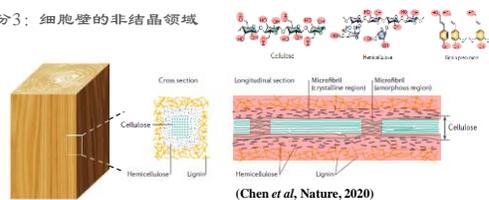
干缩湿胀不是液态的自由水, 而是吸着水引起
木制品由于日常温、湿度变化所发生的变形缺陷的原因是**吸着水**

? FSP以上水分含量的变化会造成木材的变形吗

142

木材物理学 木材的干缩湿胀

成分3: 细胞壁的非结晶领域



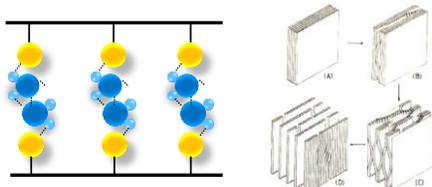
(Chen et al, Nature, 2020)

? 木材细胞壁化学成分的聚集态是怎样的? 哪些位置对于水分是可及的?

143

木材物理学 木材的干缩湿胀

成分4: 微纤丝间水层变厚而膨胀或变薄而收缩 **一核心机理**



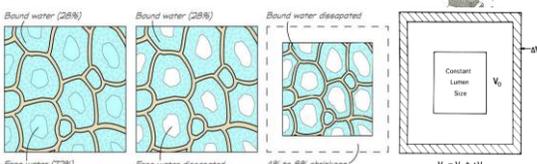
干燥过程木材细胞壁内微纤丝间水层逐渐变薄示意图

144

木材物理学 木材的干缩湿胀

成分5: 细胞壁尺寸变化

Δ 尺寸变化主要体现在细胞壁上, 细胞腔的大小基本保持不变



成分6: 木材整体尺寸变化

145

木材物理学 木材的干缩湿胀

所谓干缩湿胀 (Hygroexpansion)

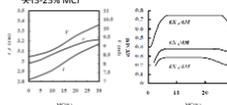


146

木材物理学 木材的干缩湿胀

干缩湿胀的影响因素

干缩湿胀(线性、体积)与含水率近似呈线性相关(5-25% MC)



一块木头与水的故事

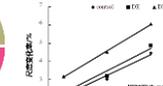
热膨胀: $10^{-6} \sim 10^{-5}/^{\circ}\text{C}(+)$
热收缩: $10^{-4} \sim 10^{-3}/^{\circ}\text{C}(-)$
湿胀: 热收缩的2-3倍(+)

温度

Heat shrinkage coefficient 0.015
Humidity expansion coefficient 0.032

化学成分

纤维素-半纤维素-吸湿性-正相关
木质素-相对疏水-负相关
抽提物-填充效应-负相关



密度

随着密度的增加, 木材实质的比例有所提高,
干缩湿胀的大小也相应增加

148

木材物理学 木材的干缩湿胀

干缩湿胀的各向异性 (Anisotropy)

干缩湿胀在木材三个纹理方向上表现出明显的差异。

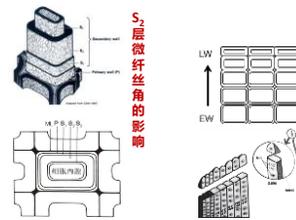


木材纵向的干缩湿胀很小，横纹方向上弦向是径向的2倍。

树种	径向干缩率 (%)	弦向干缩率 (%)	体积干缩率 (%)
美洲红松 (Pinus strobus)	4.9	7.8	13.3
美洲白松 (Pinus strobus)	7.3	9.5	16.8
欧洲松 (Pinus sylvestris)	4.2	7.2	14.6
欧洲杉 (Taxus baccata)	4.8	9.9	14.7
北美红杉 (Sequoia rubra)	4.0	8.6	13.7
北美黄杉 (Thuja occidentalis)	2.4	5.0	6.8
花旗松 (Pseudotsuga macrocarpa)	4.8	7.6	12.4
北美冷杉 (Abies grandis)	3.3	7.0	9.8
美国落叶松 (Larix laricina)	4.2	7.8	12.4
火炬松 (Pinus taeda)	4.8	7.4	12.3
墨西哥松 (Pinus attenuata)	4.3	7.5	11.5

木材物理学 木材的干缩湿胀

纵向、横向干缩湿胀差异的原因



径向、弦向干缩湿胀差异的原因

- 木射线抑制理论 (Ray restraint theory) 纵向排列的木射线对径向变形的抑制作用
- 早晚材相互作用 (Earlywood-latewood theory) 弦向上宽度大的晚材靠近早材一起变形
- 径、弦面壁物质差异 径面壁木质素含量高，对径向变形抑制增强
- 径、弦面壁纹孔数量差异 径面壁纹孔数量多，微纤丝角增加

木材物理学 木材的干缩湿胀

知识拓展：干缩湿胀对木材加工利用的影响

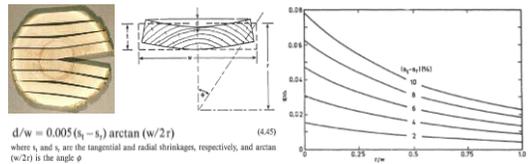
Change in dimension is only one consequence of shrinkage or swelling. Even more serious effects may result when shrinkage or swelling is uneven throughout the piece, even though it is very small in magnitude. Warp, which is the distortion of a piece from its desired or intended shape, usually results from variable shrinkage in different directions or from uneven shrinkage that causes stress in the piece.



Figure 6.15 • Various shapes of red pine have been dried and placed in their relative original positions on a diagram of a log. The first flat tangential shrinkage is greater from radial shrinkage causes squares to become diamond-shaped and cylinders to become oval. Quarter-sawn boards seldom warp, but flat-sawn boards cup away from the pith. (Photo by Randy O'Rourke)

木材物理学 木材的干缩湿胀

知识拓展：干缩湿胀对木材加工利用的影响 (续1)



$$d/w = 0.005(s_t - s_r) \arctan(w/2r) \quad (4.45)$$

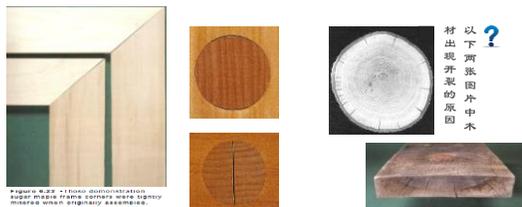
where s_t and s_r are the tangential and radial shrinkages, respectively, and $\arctan(w/2r)$ is the angle ϕ

Valid only for flat-sawn boards which do not include the pith

According to Eq. (4.45) the extent of cupping d/w is directly proportional to the difference in tangential and radial shrinkages and also to the angle ϕ whose tangent is $w/2r$. For a board of a given width, w , the extent of cupping decreases with distance r of the outer surface from the pith.

木材物理学 木材的干缩湿胀

知识拓展：干缩湿胀对木材加工利用的影响 (续2)

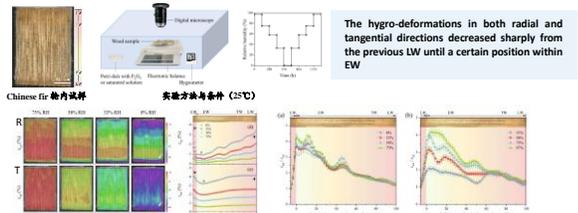


材以下现象开裂的原因

Figure 6.16 • A close-up view of a wood joint shows a crack that has formed in the corner where tightly fitting joints were subjected to high humidity. The crack was caused by uneven shrinkage of the wood in the corner, which, in turn, caused the joint to pull apart. (Photo by Randy O'Rourke)

木材物理学 木材的干缩湿胀

多尺度研究进展：轮内组织层面—DIC (Digital image correlation)

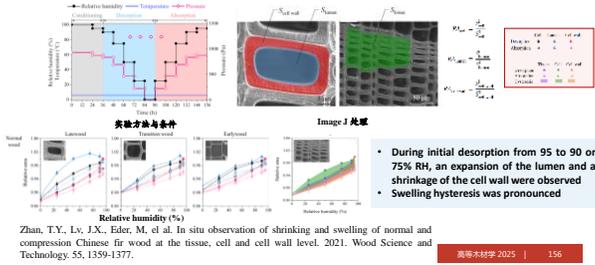


The hygro-deformations in both radial and tangential directions decreased sharply from the previous LW until a certain position within EW

Zhan, T.Y., Liu, H.Y., Zhu, J.Y., et al. A close-up view of the intra-variation of transverse shrinking and swelling in Chinese fir using digital image correlation without artificial speckle pattern. 2023. Wood Science and Technology

木材物理学 木材的干缩湿胀

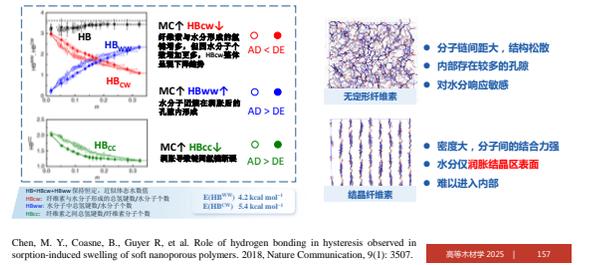
多尺度研究进展：细胞层面—ESEM (Environmental scanning electron microscope)



155

木材物理学 木材的干缩湿胀

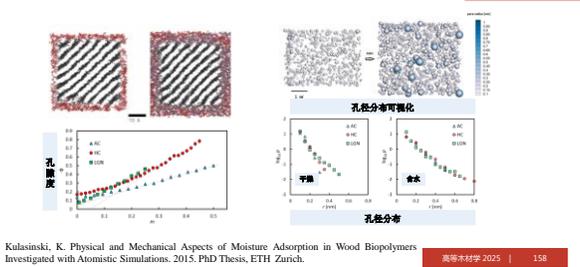
多尺度研究进展：分子层面—MD (Molecular dynamics)



156

木材物理学 木材的干缩湿胀

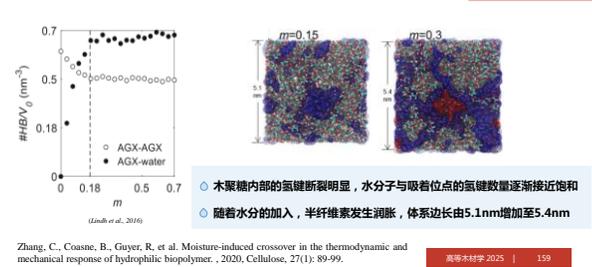
多尺度研究进展：分子层面—MD (Molecular dynamics)



157

木材物理学 木材的干缩湿胀

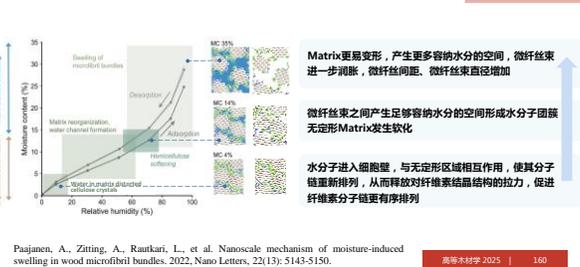
多尺度研究进展：分子层面—MD (Molecular dynamics)



158

木材物理学 木材的干缩湿胀

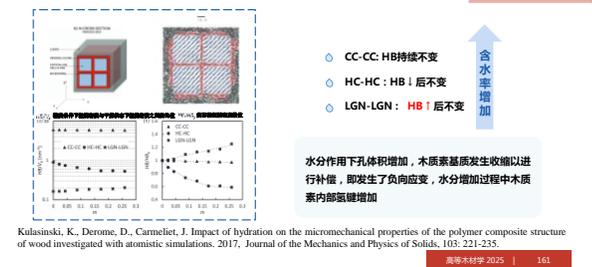
多尺度研究进展：分子层面—MD (Molecular dynamics)



159

木材物理学 木材的干缩湿胀

多尺度研究进展：分子层面—MD (Molecular dynamics)



160



高等木材学 课程

第三讲 木材组分的生物合成

联系方式:



姓名: 林 剑
 办公室: 森工楼420
 邮箱: linjian0702@bjfu.edu.cn

知山知水 树木树人

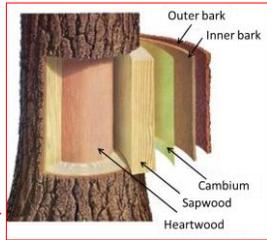
课程内容

- 12 木材的形成与基本构造-基础引入(4)
- 13 木材解剖构造的变异(4)
- 14 木材组分的生物合成(4)
- 15 专题讲座: 木材细胞壁结构调控及功能化(4)
- 16 木材中的水分(8)
- 18 木材的干缩湿胀(4)
- 19 专题讨论: 小组报告(4)

木材解剖学
 木材物理学



思考: 何为木材?
有何结构?



思考: 如何形成?



初生长 Primary growth—顶端生长/高生长
 在a-a处, 是生长点的顶端分生组织, 树干的增高就是起源于此组织能持久地再分裂。
 在b-b处, 细胞已成为明显不同层次的初生分生组织, 由单层细胞的原表皮层d、束状原形成层pc、d和pc间初生基本组织, 髓心p构成。
 在c-c处, 初生分生组织转为初生永久组织, 原形成层pc最外和最内层细胞分化为初生韧皮部pp和初生木质部px。
 在d-d断面, 由外向内的组织依次是: 表皮、皮层、初生韧皮部、原形成层(或称侧生分生组织)、初生木质部和髓心。在形成层组织细胞活动前, 树茎顶端的所有组织, 都属于初生组织。

次生长 Secondary growth—粗生长/径生长
 在d-d断面以下, 形成层向外生成次生韧皮部(内树皮), 向内形成次生木质部(木材)。

apical meristem 顶端分生组织
 a — apical meristem 顶端分生组织
 d — cortex 皮层
 e — epidermis 表皮
 pc — procambium 原形成层
 p — pith 髓
 pp — primary phloem 初生韧皮部
 px — primary xylem 初生木质部

Protderm 原表皮层 → Epidermis 表皮
 Apical initials 顶端分生组织
 Mother cells 母细胞
 Precambium 原形成层 → Vascular cambium 维管形成层
 Secondary phloem 次生韧皮部
 Primary xylem 初生木质部
 Secondary xylem 次生木质部
 Cortex 皮层
 Ground meristem 侧分生组织
 Pith 髓

Process of secondary growth

Wood formation

Cortex Phloem Cambium Xylem Pith

Cell differentiation
 Cell division/proliferation
 Cell differentiation
 Programmed cell death

形成层细胞分裂/增殖
 纺锤形原始细胞→木质部和韧皮部的轴向细胞
 射线原始细胞→木质部和韧皮部的射线细胞

新生木质部细胞分裂与分化与成熟
 分化为具有不同特征和功能的细胞, 如导管、管胞等细胞分裂与初生壁形成、伸展生长、壁增厚、木质化

成熟木质部细胞死亡
 原生质转化
 逆材向心材转化

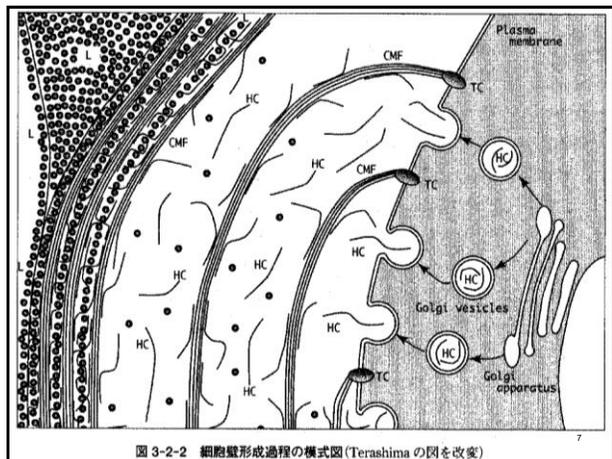
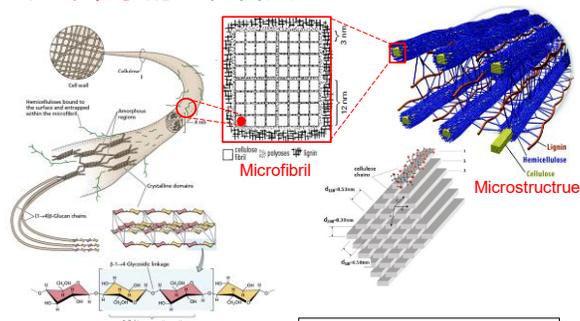


图 3-2-2 细胞壁形成过程的模式图 (Terashima の図を改変)

内容

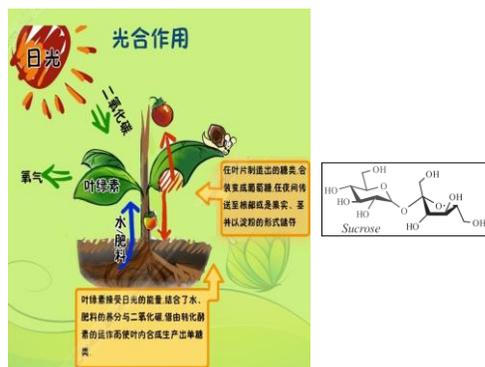
- 1、**纤维素**的生物合成
- 2、**半纤维素**的生物合成
- 3、**木质素**的生物合成

1、纤维素的生物合成

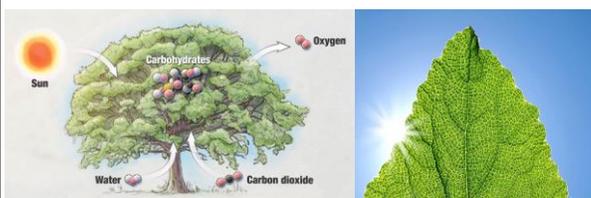


- 单体形成与运输;
- 分子链合成;
- 微纤丝形成与排列取向;

(一) 单体形成与运输

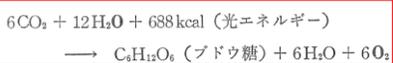


光合作用概念

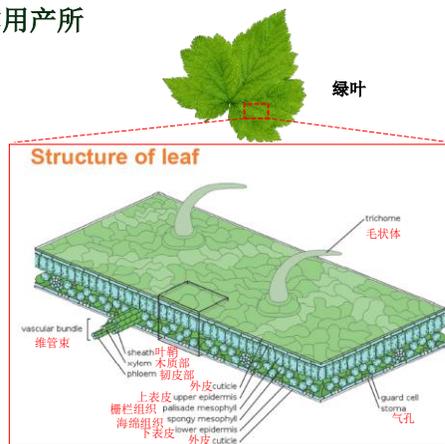


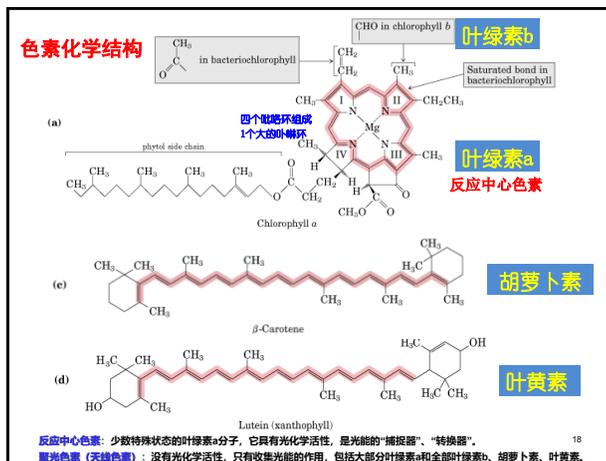
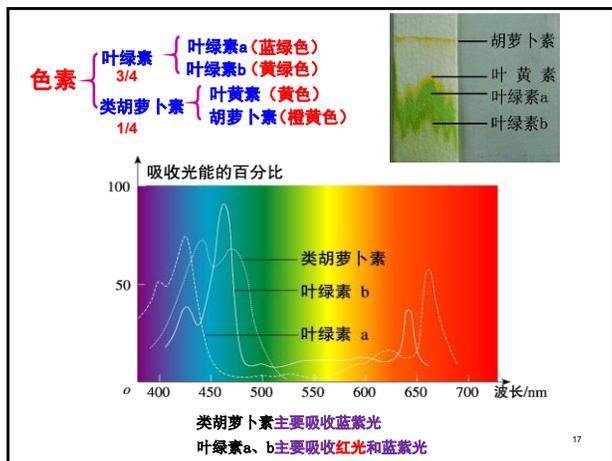
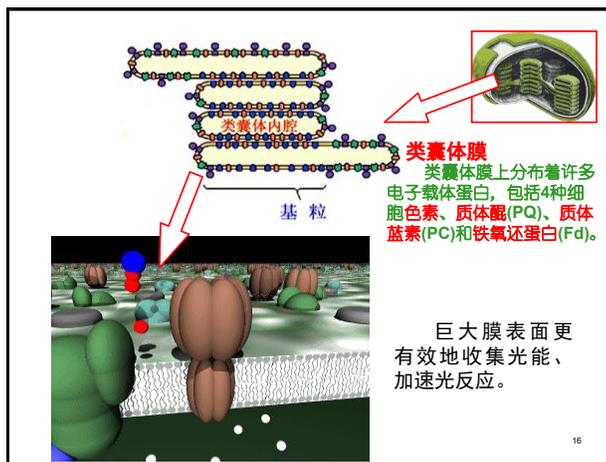
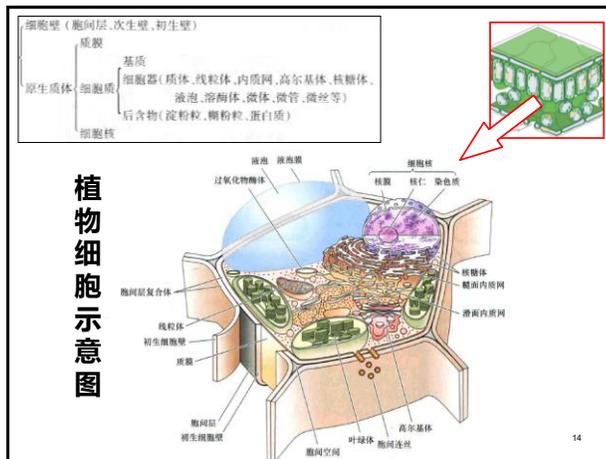
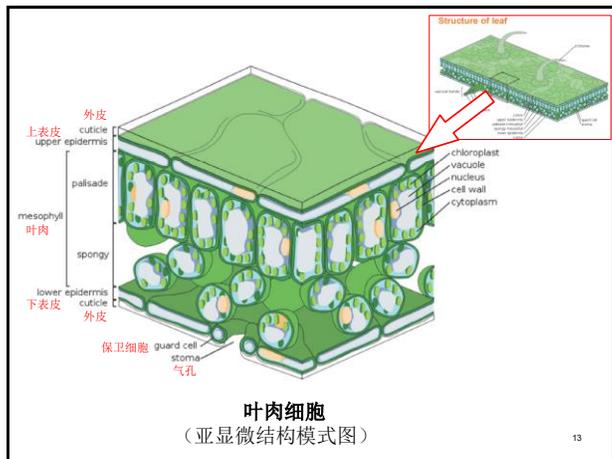
绿色植物通过**叶绿体**，利用光能，把**二氧化碳**和**水** $7 \times 10^{11} \text{ t}$ 转化为**储存化学能的有机物**，并且释放出**氧气**的过程。

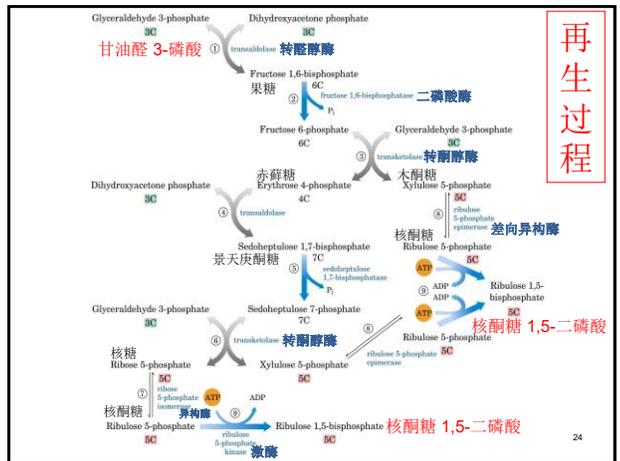
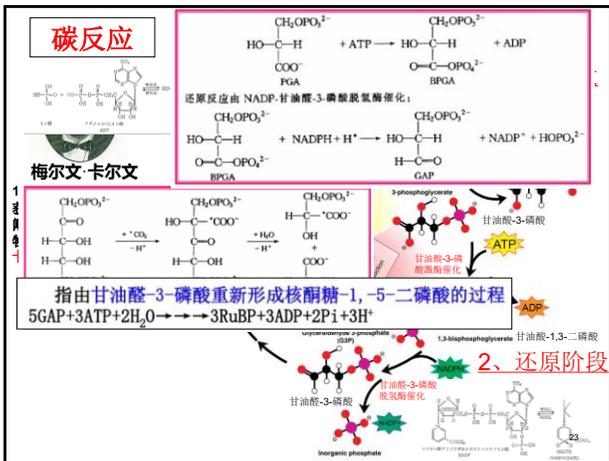
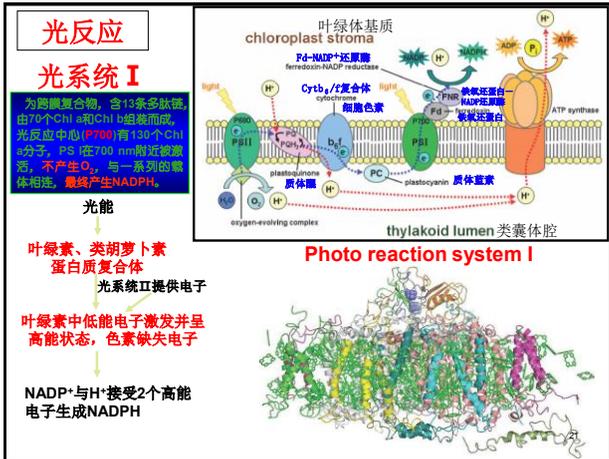
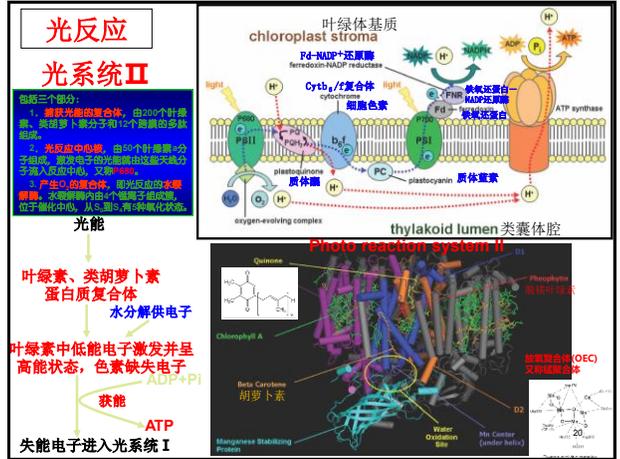
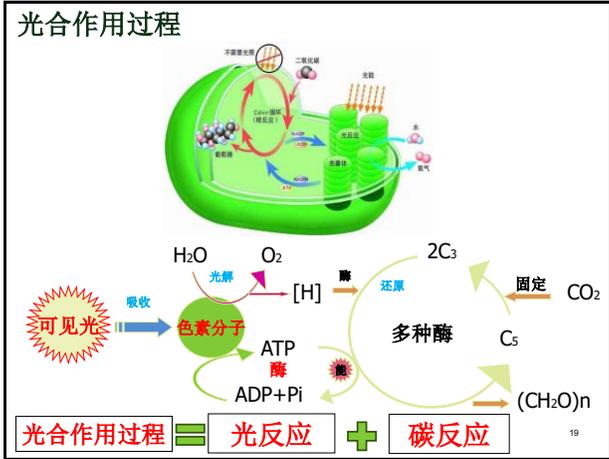
$7.1 \times 10^{18} \text{ kJ}$ $4-5 \times 10^{11} \text{ t}$ $5.35 \times 10^{11} \text{ t}$



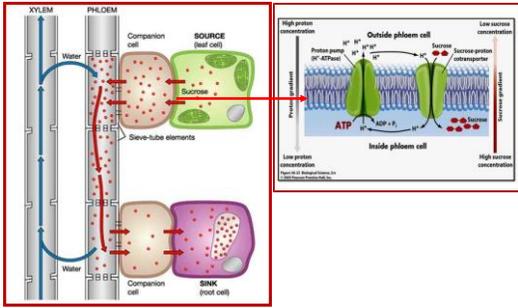
光合作用场所







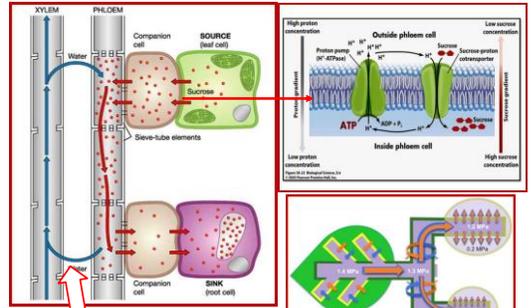
(一) 单体形成与运输



导管和管胞 筛管和伴胞
(蒸腾作用-内聚力-张力) (压强或集流)

- H⁺ ions are actively transported (using ATP) out of the phloem cell
- High H⁺ ion concentration gradient builds up outside the cell
- H⁺ ions flow back into the cell, the energy released is used to cotransport sucrose into the phloem cell

(一) 单体形成与运输

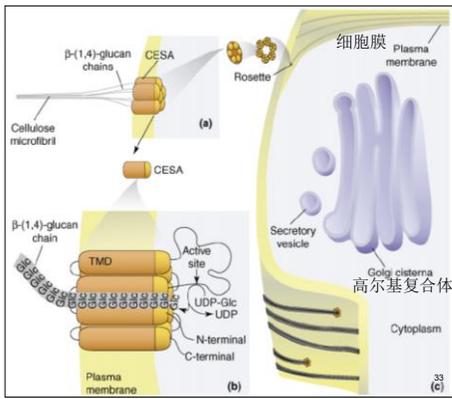


导管和管胞 筛管和伴胞
(蒸腾作用-内聚力-张力) (压强或集流)

- Concentration of sucrose in phloem cells is relatively high, and the water concentration is relatively low
- Water moves down the concentration gradient from the xylem, through the membrane, into phloem cells, by osmosis(渗透)

(二) 分子链合成

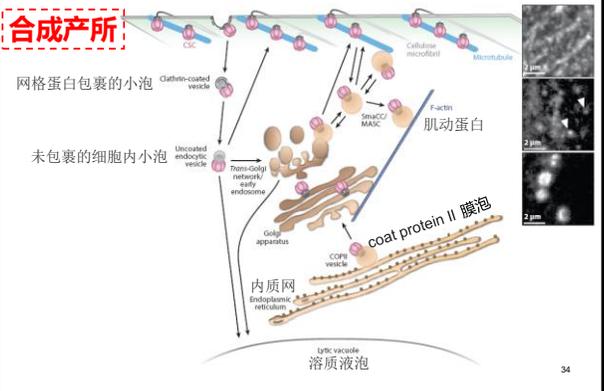
合成场所



33 (c)

(二) 分子链合成

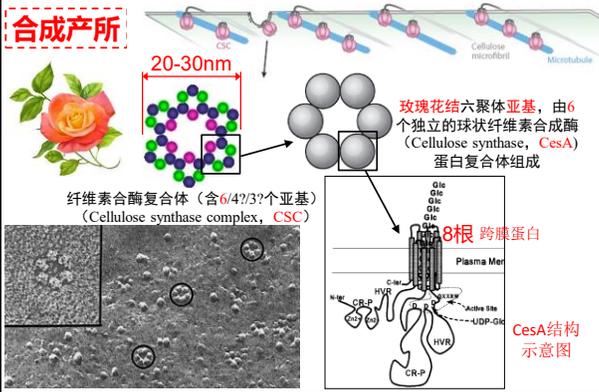
合成场所



34

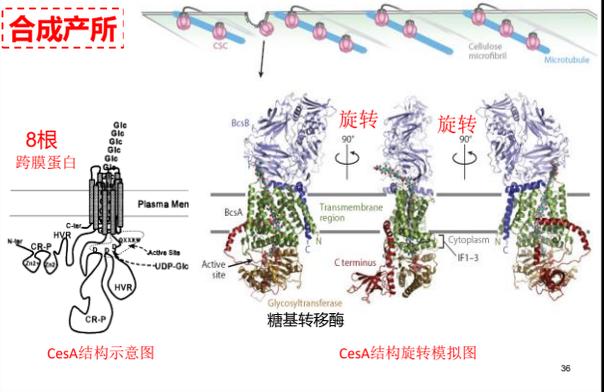
(二) 分子链合成

合成场所



(二) 分子链合成

合成场所



36

(二) 分子链合成

合成过程

Cellulose + H₂O → Glucose residue added to cellulose chain. $\Delta G > 0$

UTP (尿嘧啶核苷三磷酸) + H₂O → UDP (尿嘧啶核苷) + P_i. $\Delta G < 0$

两种核苷：
 - 尿嘧啶核苷三磷酸 (UTP)
 - 鸟嘌呤核苷三磷酸 (GTP) → 合成半纤维素素时出现

(二) 分子链合成

合成过程

1、活性葡萄糖的形成

Sucrose + H₂O → UDP-Glc + Fructose. $\Delta G < 0$

UTP → UDP-Glc

UDP-Glc → Glc-1-P (葡萄糖磷酸变位酶)

Glc-1-P → Glc-6-P (己糖激酶)

Glc-6-P → Glucose (腺嘌呤核苷三磷酸)

(二) 分子链合成

合成过程

2、末端连接活性葡萄糖

活性葡萄糖 + 纤维素合成酶CesA (β-1,4糖苷转移酶) → 纤维素链 + UDP. $\Delta G < 0$

非还原性末端处连接

Chemical reaction: HO-CH₂ + HO-CH₂ → HO-CH₂-O-CH₂-H + H₂O. Condensation. Glycosidic bond.

(二) 分子链合成

重复单元?

纤维素合成酶

8根跨膜蛋白

维持CesA复合体在合成中的稳定
与各亚基之间相互作用

提供葡萄糖非还原端结合位点

提供葡萄糖延伸提供催化位点

CesA结构示意图

(二) 分子链合成

重复单元?

纤维素合成酶

8根跨膜蛋白

CesA结构示意图

(二) 分子链合成

单链构象?

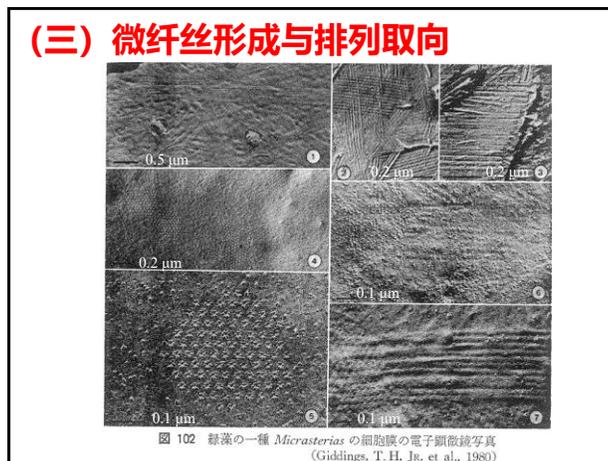
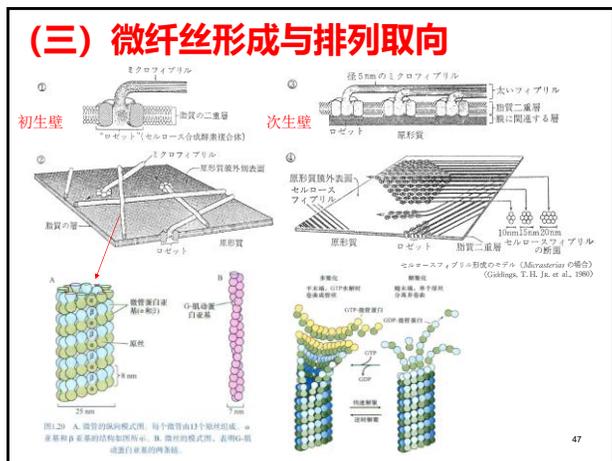
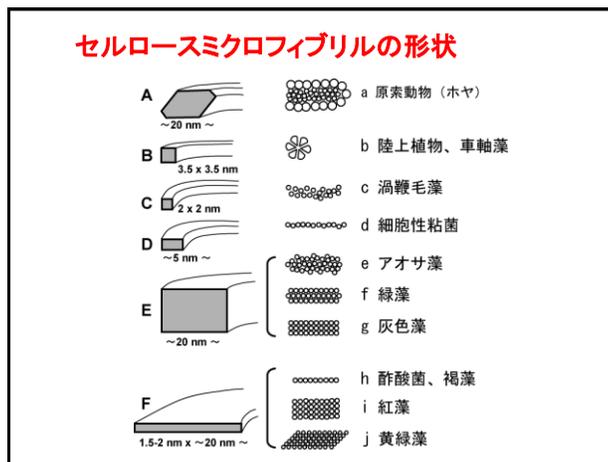
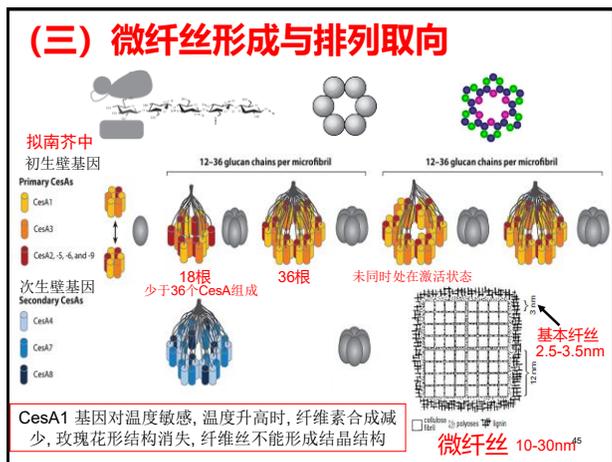
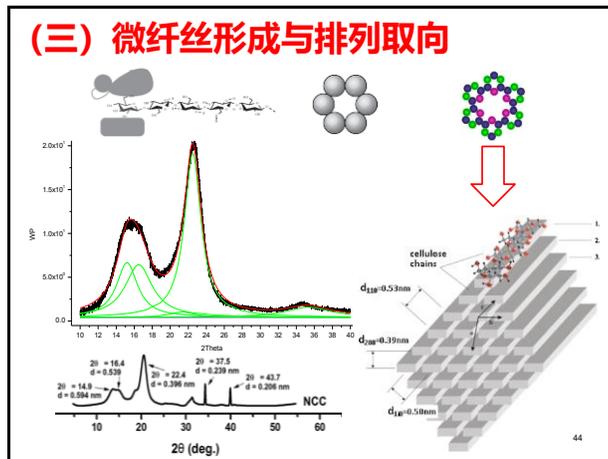
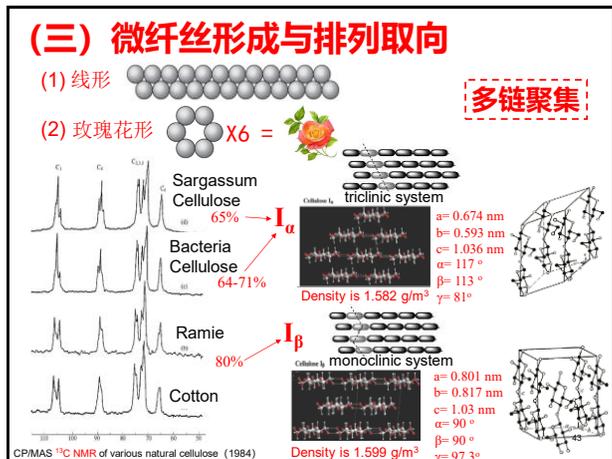
The two mechanisms proposed for glycosyl transfer from nucleotide diphospho sugars (核苷酸二磷酸盐)

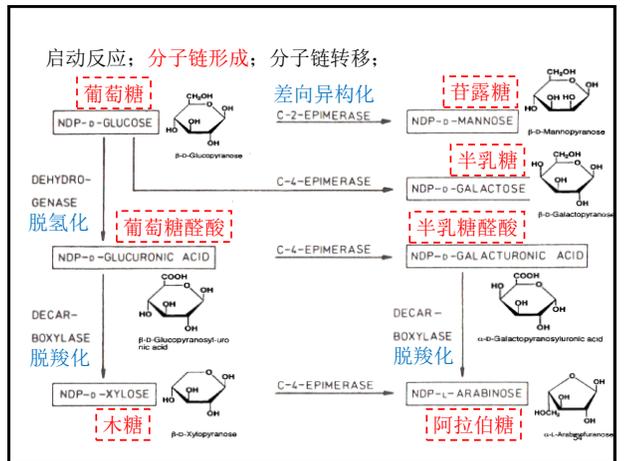
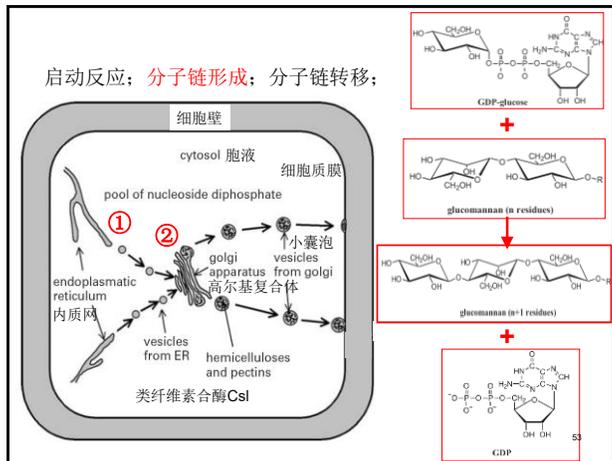
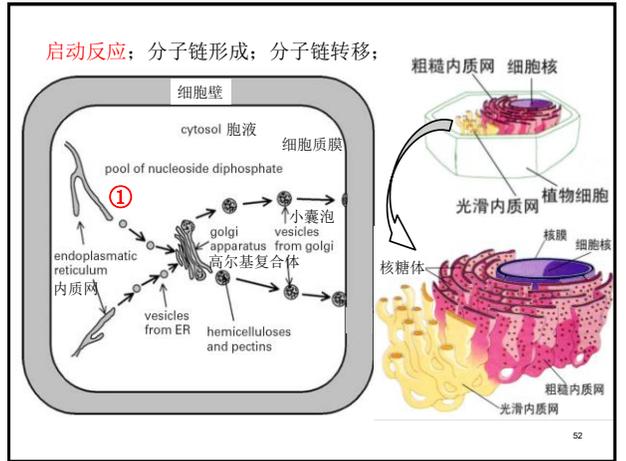
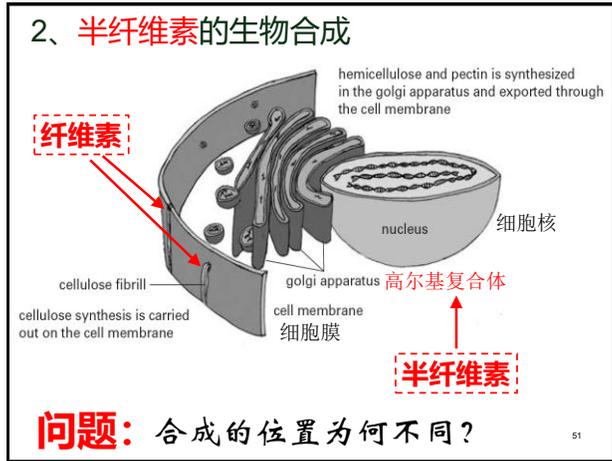
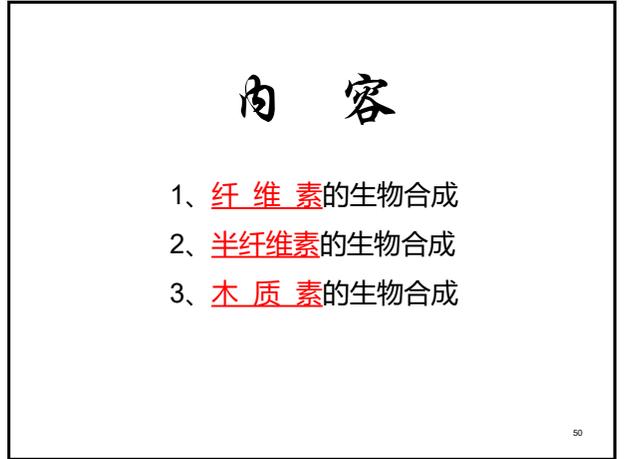
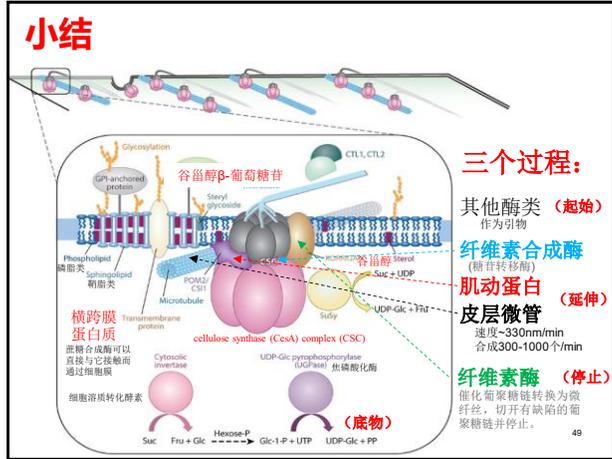
Inverting mechanism (RETAINING)

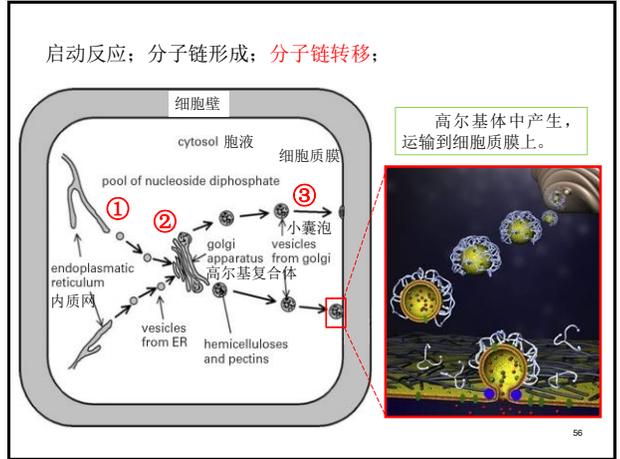
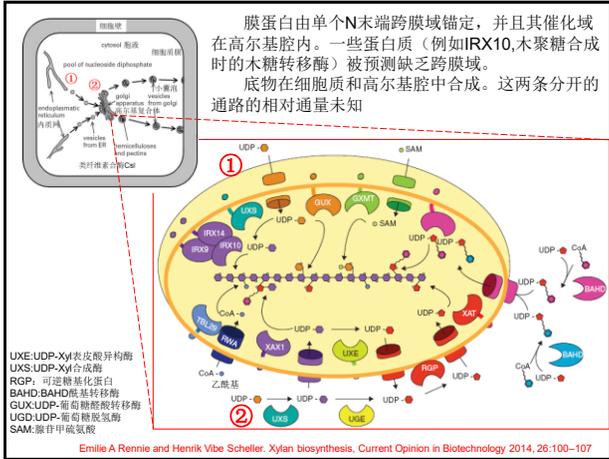
Retaining mechanism (RETAINING)

Alfa to beta linked

Alfa to alfa linked²



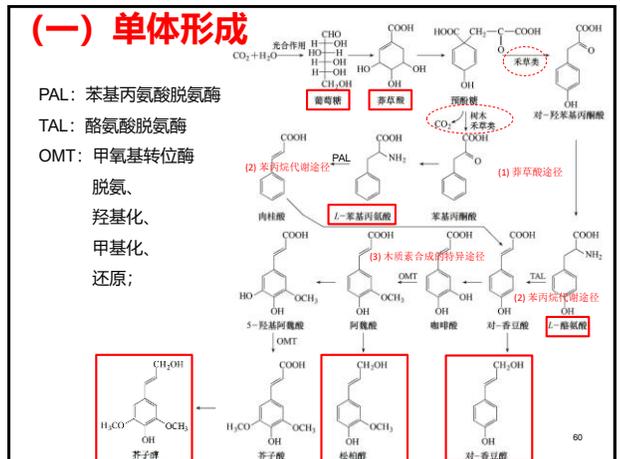
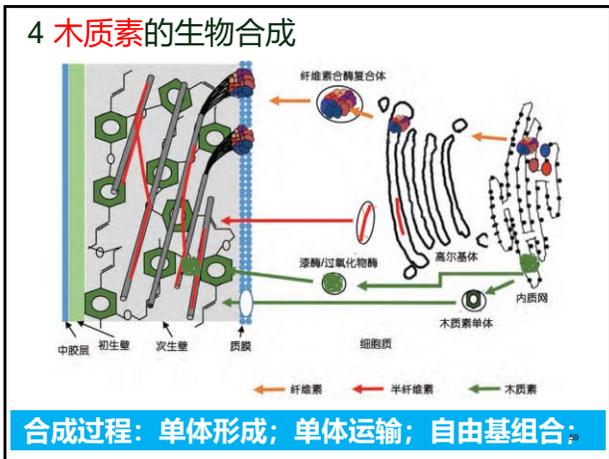
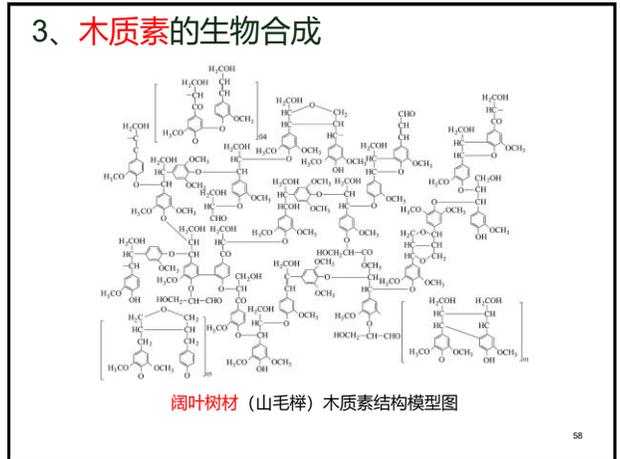




内容

- 1、纤维素的生物合成
- 2、半纤维素的生物合成
- 3、木质素的生物合成

57



(一) 单体形成

磷酸烯醇式丙酮酸 (PEP) 经一系列酶促反应生成 3-脱氢奎宁酸 (3-dehydroquanic acid)。

涉及的酶包括：DAHPase, NAD-NADPH, DHOase, ATP, NAD-NADPH + H+。

ATP三磷酸腺苷, NADP烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸

(一) 单体形成

苯基丙酮酸 (Phenylpyruvate) 经一系列酶促反应生成 L-苯基丙氨酸 (L-phenylalanine) 和 L-酪氨酸 (L-tyrosine)。

涉及的酶包括：转氨酶 (transaminase)。

木质素前驱体的生物合成

木质素前驱体的生物合成途径涉及 PAL, TAL, 和 OMT 等酶。

PAL: 苯基丙氨酸脱氨酶; TAL: 酪氨酸脱氨酶; OMT: 甲氧基转移酶 (脱氢、羟甲基化、甲基化、还原)

(二) 单体运输

木质素单体糖基化运输 (β-葡萄糖苷形式前驱体)

(二) 单体运输

导管和管胞 筛管和伴胞 (蒸腾作用-内聚力-张力) (压强或泵流)

(二) 单体运输

木质素单体的主要过程

1-被动扩散PD (通过固定脂体和磷脂双分子层)

2-囊泡介导的胞外分泌 (通过内质网和高尔基体衍生出的囊泡)

3-转运蛋白运输 (通过ABC转运蛋白或质子耦合逆向转运蛋白 (多))

4-单木质素甘转运 (通过UDP-葡萄糖基转移酶) (少)

(三) 自由基组合

β-葡萄糖苷形式前驱体

香豆醇 松柏醇 芥子醇

p-Coumaryl alcohol Coniferyl alcohol Sinapyl alcohol

Oxidation of a phenolic aromatic requires a moderately strong oxidant.

The generated phenoxyl radical is a strong acid ($pK_a < 5$) and thereby can the radical be delocalized to the oxygen. (All possible forms are not shown.)

Oxidation of a non-phenolic aromatic requires a very strong oxidant.

The generated cation radical has the unpaired electron delocalized over the aromatic ring, but the number of possible resonance forms are smaller than for the phenolic radical. (All possible forms are not shown.)

酚型与非酚型木质素结构的氧化

(三) 自由基组合

漆酶 过氧化酶 或 脱氢酶

Resonance forms

苯氧自由基共振体

(三) 自由基组合

Table 2.2 Percentage of total linkages present in softwood and hardwood lignins

Linkage type	Dimer structure	Percentage of total linkages (%) ^a	
		Softwood	Hardwood
β-O-4'	Phenylpropane β-aryl ether	45-50	60
5-5'	Biphenyl and dibenzodioxin	18-25	5
β-5'	Phenylcoumaran	9-12	6
β-1'	1,2-Diaryl propane	7-10	7
α-O-4'	Phenylpropane α-aryl ether	6-8	7
4-O-5'	Diaryl ether	4-8	7
β-β'	Diaryl ether	3	3
	β-β'-linked structures	3	3

(三) 自由基组合

Two radicals with the unpaired electrons delocalized to the β- and 4-O positions meet.

A covalent bond is formed. The α-carbon is electrophilic.

Water performs a nucleophilic attack on the β-O-4' structure. If a carbohydrate performs the attack in place of water an LCC is formed.

Two radicals with the unpaired electrons on the β and 5' positions meet.

A covalent bond is formed. The 4-O position performs a nucleophilic attack on the electrophilic α-carbon, completed.

An α-O-4' bond is created, and the phenylcoumarane structure is completed.

(三) 自由基组合

Two radicals meet. The radical on the polymer has the unpaired electron delocalized to the oxygen.

A covalent bond is formed.

Rearrangement and aromatization create a 4-O-5'-bond.

A coniferyl alcohol radical and a phenolic radical on the lignin (both formed by enzymatic oxidation) meet.

A covalent bond is formed.

Rearrangement and aromatization create a 5-5'-bond.

(三) 自由基组合

Radicals on 1 and β positions form a covalent bond.

Rearrangement and nucleophilic attack of water cleaves the monolignol and form β-1' and glyceraldehyde aryl ether structures.

Alternatively, an internal nucleophilic attack of the α-hydroxyl group forms an ether and completes the spiro-streene structure.

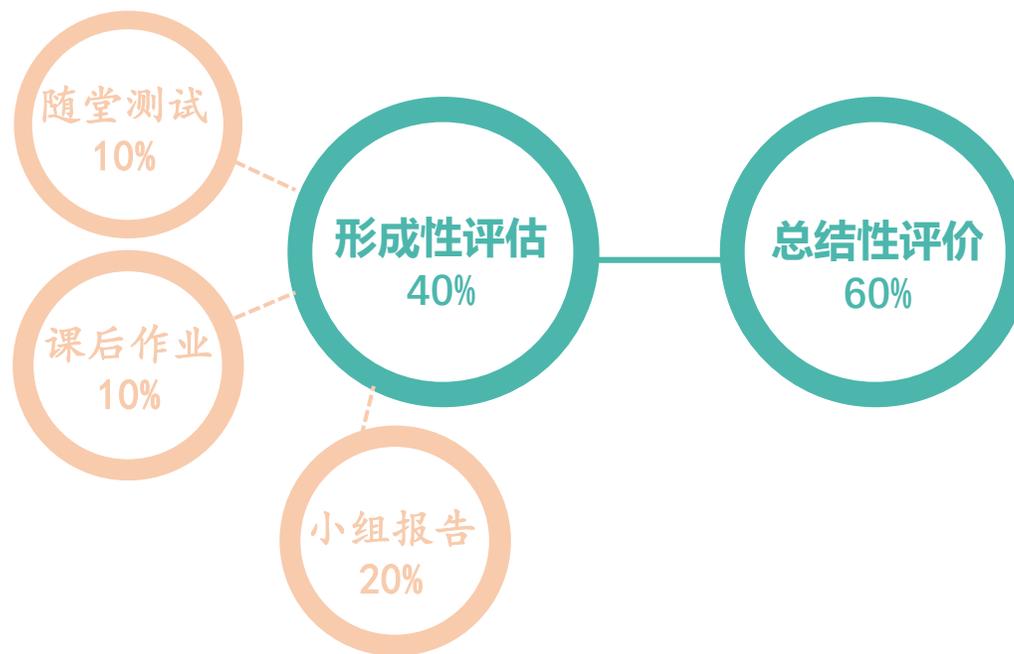
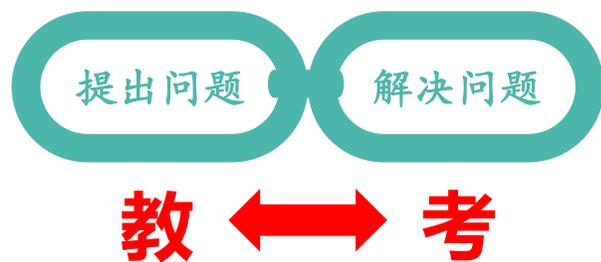
思考：

木材组分生物合成的启发？

79

课程评价体系说明

课程评价体系说明



三元评价 学生自评+学生互评+教师评价

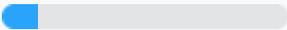
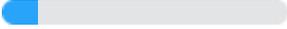


评分标准							总分 /10	2 stars 1 wish
内容清晰 易于理解 /3	设计紧凑 逻辑性强 引人入胜 /2	语言流畅 生动/1	PPT美观 图文并茂 与讲解配合度高/1	时间控制 良好/1	引入科研成果或专业英语/1	有参考文献和成员分工/1		

课程随堂线上小测 分析报告（例）

高等木材学随堂小测分析报告

1、 以下关于形成层的描述， 错误的是（ ）。

选项	小计	比例
A、 细胞分裂包括平周分裂和垂周分裂两种方式， 后者对木材的形成贡献较大 (答案)	42	 70%
B、 包括纺锤形原始细胞和射线原始细胞， 分别形成木质部的轴向及横向组织， 且射线原始细胞亦由纺锤形原始细胞分裂而来	8	 13.33%
C、 形成层带包括 1 层形成层原始细胞， 及若干层木质部母细胞和韧皮部母细胞， 三者均具有分生能力	8	 13.33%
D、 形成层原始细胞先分裂为木质部或韧皮部母细胞， 母细胞逐渐发展为木质部或韧皮部细胞	2	 3.33%

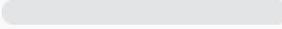
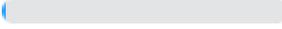
正确率：70%

2、 以下关于木质部细胞成熟的描述， 错误的是（ ）。

选项	小计	比例
A、 第一阶段：纺锤组织扩大生长， 而薄壁组织在该阶段缩短	3	 5%
B、 第二阶段：纺锤组织细胞壁向外增厚， 而薄壁组织内仅有部分原生质转化为细胞壁物质 (答案)	52	 86.67%
C、 第三阶段：纺锤组织木质化， 而薄壁组织仅发生轻微木质化	3	 5%
D、 第四阶段：纺锤组织死亡， 而薄壁组织可在边材中存活 5-10 年	2	 3.33%

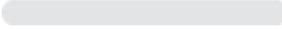
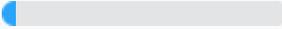
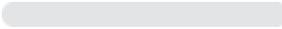
正确率：86.67%

3、以下关于心材形成的描述，错误的是（）。

选项	小计	比例
A、薄壁细胞由于水分和氧气的不足而死亡标志着心材的形成	4	 6.67%
B、薄壁细胞中的原生质转变为抽提物，赋予木材特有的颜色、气味及滋味	0	 0%
C、抽提物使心材的渗透性下降，并赋予其一定的天然耐久性	1	 1.67%
D、在阔叶材中，邻近导管的薄壁细胞中的原生质通过纹孔挤入导管胞腔，形成拟侵填体 (答案)	55	 91.67%

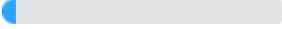
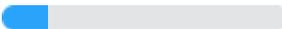
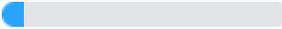
正确率：91.67%

4、组成细胞壁的最小单位是（）。

选项	小计	比例
A、Fibril	0	 0%
B、Microfibril	3	 5%
C、Macrofibril	0	 0%
D、Elementary fibril (答案)	57	 95%

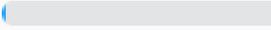
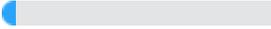
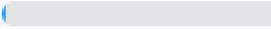
正确率：95%

5、以下关于细胞壁层结构的描述错误的是（）。

选项	小计	比例
A、胞间层含少量果胶质	3	 5%
B、由于木质素主要分布在胞间层和初生壁，使二者在光学显微镜下难以区分，故合称为复合胞间层 (答案)	42	 70%
C、初生壁是形成层细胞分裂至细胞增大阶段形成的壁层，次生壁是细胞增厚阶段形成的壁层	10	 16.67%
D、次生壁中层的厚度最大，微纤丝近似与细胞主轴平行排列，对木材材性具有重要的影响	5	 8.33%

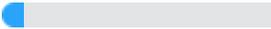
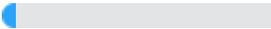
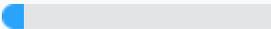
正确率：70%

6、以下不属于针叶材细胞的是 () .

选项	小计	比例
A、纤维状管胞 (答案)	55	 91.67%
B、轴向管胞	1	 1.67%
C、树脂管胞	3	 5%
D、索状管胞	1	 1.67%

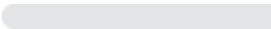
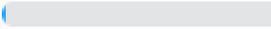
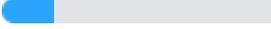
正确率：91.67%

7、以下不属于阔叶材细胞的是 () .

选项	小计	比例
A、导管状管胞	5	 8.33%
B、射线管胞 (答案)	47	 78.33%
C、环管管胞	3	 5%
D、分隔纤维	5	 8.33%

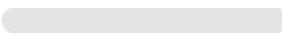
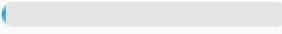
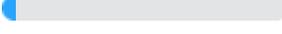
正确率：78.33%

8、以下关于木射线描述错误的是 () .

选项	小计	比例
A、针叶材主要为单列木射线，在出现树脂道的树种中存在多列木射线；而阔叶材主要为多列木射线	0	 0%
B、针叶材木射线全部为横卧细胞；而阔叶材木射线除了横卧细胞，还有直立细胞和方形细胞	1	 1.67%
C、阔叶材木射线较针叶材发达，但全部由射线薄壁细胞构成	11	 18.33%
D、阔叶材的木射线根据是否存在横卧细胞，分为同形木射线和异形木射线 (答案)	48	 80%

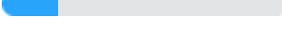
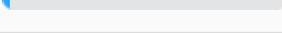
正确率：80%

9、以下描述不符合半纤维素结构特点的是 () .

选项	小计	比例
A、不均一聚糖	0	 0%
B、存在支链	1	 1.67%
C、联接方式多样化	3	 5%
D、网状高分子聚合物 (答案)	56	 93.33%

正确率：93.33%

10、木材细胞质膜上纤维素合酶复合体合成纤维素分子链后排列聚集主要形成含 () 的结晶晶型结构.

选项	小计	比例
A、100%I α	1	 1.67%
B、65%I α -35%I β	45	 75%
C、20%I α -80%I β (答案)	12	 20%
D、100%I β	2	 3.33%

正确率：20%

课程平时作业 (例)

高等木材学作业

姓名：李韵珂 学号：3220356 研究方向：木材构造与物性

说明：

1. 答题之前，请将学号、姓名、研究方向填写清楚。
2. 请结合课程内容认真梳理自身理解，用自己的语言作答，避免抄袭网络 and 他人信息；为确保评价公平，将对报告进行查重，确定为抄袭的报告以零分计。
3. 答题不作字数限定，依据论述质量进行评价。

1、试述你对纤维饱和点的理解。

纤维饱和点并不能简单的理解为某一特定含水率点，而应该理解为一个过渡的状态，其含水率范围约在 30-40%。

纤维饱和点最初的定义为：细胞腔内无液态水，细胞壁开始被干燥，同时木材物理力学性能出现变化的含水率。但之后的研究证明上述三种现象通常不会在同一含水率下出现，并且在纤维饱和点以下的干燥过程中细胞腔内仍可能会出现由吸着水解吸而来的自由水，因此这一定义仍需要进一步的发展。

在当前已有的研究中，纤维饱和点根据划分依据的不同而有多种相应的概念和含水率。根据纤维饱和点是木材物理力学性质的转折点，有学者通过外推法推算出纤维饱和点的平均含水率是 30%。根据纤维饱和点为细胞壁可容纳的最大吸着水含量或从热力学角度将纤维饱和点视作木材内不同水分状态的相态边界的观点，利用溶剂排出法和压力板法测得纤维饱和点的值均在 40%左右。

根据上述纤维饱和点的测定方法可以看出，从木材性质的转折点到细胞壁内的吸着水达到最大值间差了 10%的含水率，这一部分水分和 30%含水率以下的吸着水相比，可能与木材细胞壁主成分有不同的相互作用。因此，纤维饱和点可以被理解为一个木材含水率为 30-40%的过渡状态。当含水率低于 30%时，水分子可以破坏细胞壁成分的分子内和分子间氢键，从而造成木材性质的改变，当含水率达到 30-40%时，进入细胞壁的水分子不再打断细胞壁化学成分中的氢键，而是单纯的填充在细胞壁中，不再对木材性质造成影响。

基于纤维饱和点为一个过渡状态的观点，上述不同纤维饱和点的概念均可成立，只是适用范围不同。对于指导实际的生产，木材各项性能的转折点这一概念更为适用。而相态边界这一概念中由于热力学的引入，给出了纤维饱和点的物理含义，有助于进行全含水率区间内木材水分状态的评价。因此，纤维饱和点的概念及对应含水率的选择应该结合研究的目的或实际需求进行。

2、谈谈木材的各级解剖构造与自身研究方向的结合之处。

我的研究与木材细胞壁的物理化学环境调控相关，木材的超微构造与我的研究有直接关联，对于木材细胞壁主要化学成分、细胞壁主成分的结合与堆积方式的研究是进行细胞壁调控的基础。

木材细胞壁的三大主要成分是纤维素、半纤维素、木质素。其中纤维素的含量最高，约占主要化学成分含量的45%，是构成木材细胞壁的骨架物质。而半纤维素和木质素则是细胞壁的无定形物质，半纤维素是一种不均一的聚糖，具有短支链，渗透在骨架物质中；木质素呈三维网状结构，作为结壳物质填充在骨架中。细胞壁主成分中具有的如羟基、羧基等与木材化学反应或物理作用相关基团对我的研究具有重要意义。同时，这些细胞壁组分间的相互作用可以影响木材细胞壁的性能，也为细胞壁物理化学环境的调控提供了参考。

木材中的纤维素与半纤维素间有直接的相互作用，二者之间可以通过氢键直接结合，而木质素与纤维素间几乎没有直接的相互作用，主要通过半纤维素来产生间接作用，木质素与半纤维素间既有牢固的酯键、醚键等化学键，也存在着氢键、范德华力等物理连接。由此可知，木材中的氢键等非共价键连接在木材主成分的相互作用中占有很大的比重，因此对木材细胞壁的氢键网络的调控是我研究中的一个重要方面。

木材细胞中的纤维素的聚集态结构为具有结晶区和非结晶区的两相结构。纤维素羟基上存在极性较强的氢原子，可以和另一羟基上电负性很强的氧原子上的孤对电子相互吸引，从而形成氢键($\text{—OH}\cdots\text{H}$)。纤维素内数量庞大的氢键构成了氢键网络，产生了分子链排列整齐致密的结晶区；而无定形区则排列松散、密度较低。由此可见，实现对木材氢键网络的调控，不仅可以调控各组分间的相互作用，还可以进行纤维素两相结构间的调控，从而根据对木材物理力学性能的需求，对结构进行相应的调控。

进行木材细胞壁环境的调控时，木材与水分子、其他分子或离子间的相互作用也是必须要关注的，木材细胞壁的结构就是产生这些相互作用的基础。细胞壁化学成分中的羟基等吸湿性基团为水分提供了吸着位点（化学环境），而细胞壁的空隙结构则提供了容纳水分的空间（物理环境）。除水分子外，木材也有可能与其他分子间依靠非共价键产生相互作用。木材细胞壁结构的调节主要依靠这种非共价键的作用实现。

在我之前的研究中，通过脱除木质素或半纤维素改变木材细胞壁物理化学环境，证明了水分可以通过与无定形物质的相互作用对纤维素结晶结构产生影响。从该研究中可以看出，木材细胞壁内各成分间的相互作用以及木材内的空隙和吸湿性基团等与木材细胞壁构造相关的知识对我未来的研究具有重要意义。

除木材的超微结构外，木材的其他各级构造也同样重要。木材内从管孔到纹孔再到细胞壁内孔隙的各级孔隙结构，提供了水分等物质进入木材的通道和容纳的空间。针阔叶材、心边材、早晚材中细胞形态或是内含物等的区别也会影响木材的物理力学性质以及细胞壁环境调控的结果。同时，在木材的不同方向（横向、径向、弦向）上，细胞的宏观排列和微观构造都存在各向异性，所以在准备试材时还需要根据实际需求选择合适的方向。基于木材的宏观构造和微观构造，在制备试样时还需要充分考虑树种、早晚材、心边材、样品尺寸等因素。

综上，木材的宏观、微观、超微构造是我未来研究的基础，与我的研究密切相关。

课程小组报告说 明、分组情况、样 例与评价

专题讨论

评分标准							总分 /10
内容清晰 易于理解 /3	设计紧凑 逻辑性强 引人入胜 /2	语言流畅 生动/1	PPT美观 图文并茂 与讲解配合 度高/1	时间控制 良好/1	引入专业英 语/1	有参考文献 和成员分工 /1	

加分机制：

报告人在小组得分基础上加1分

小组报告（第12周）

文献阅读及交流展示

1. 研究的意义和目的；
2. 以往研究进展程度；
3. 研究的方法和手段；
4. 研究结果分析与讨论；
5. 论文的不足或对**自身研究的启发**等。

选 题

木材解剖或木材中水分研究的新技术、新发现

要 求

- 共**9**组，每组**6-7**人，组长负责制，协调分工
- 第**6**周确定选题、第**7**周确定分工、第**11**周把关预演
- 汇报时间**15**分钟

源期刊：IAWA Journal, Holzforschung, Wood Science and Technology, European Journal of Wood and Wood Science, Wood and Fiber Science, Forest Products Journal, Cellulose, Carbohydrate polymers, Macromolecules, Nature Communication.....

高等木材学分组情况

序号	组名/人数	组长	组员(含组长)	性别	学硕/专硕	学习风格	报告选题	成员分工
1	Maple/7	李淼	王雪纯	女	学硕	经验型	木材解剖	汇报
			王一诺	女	学硕	想象型		材料梳理
			车皓莹	女	学硕	行动性		ppt制作
			穆雨晴	女	学硕	经验型		文献检索
			刘韦良	男	学硕	行动型		文献检索
			李傲	男	学硕	行动型		ppt制作
			李淼	女	学硕	想象型		汇报
2	Podocarpus macrophyllus /7	周乔佳	万晨琪	男	学硕	想象型	木材水分	文献检索、报告
			黄武杰	男	学硕	启动型		PPT格式修改
			刘洋	男	专硕	经验型		PPT制作
			周乔佳	女	学硕	启动型		材料梳理
			赵安瞳	女	学硕	经验型		材料梳理
			朱镇	男	专硕	反思型		PPT制作
			吴嘉豪	男	学硕	行动型		文献检索
3	Cypress/6	熊慧璟	詹志斌	男	学硕	启动型	木材解剖	文献检索+整理
			熊慧璟	女	专硕	经验型		ppt制作+汇报
			刘欣然	女	专硕	经验型		文献检索+汇报
			闫雪莹	女	专硕	行动型		文献检索+ppt制作
			付爽	女	专硕	启动型		文献检索+汇报
			田俊	男	专硕	思考型		文献整理+汇报
4	Pine/7	林子琪	侯博晗	男	专硕	想象型	木材水分	文献梳理
			张立仁	男	专硕	启动型		文献检索
			彭旭东	男	专硕	经验型		汇报
			何忠伟	男	专硕	反思型		PPT制作
			何雄坤	男	专硕	经验型		文献梳理
			陈佳俊	男	专硕	行动型		汇报
			林子琪	女	专硕	经验型		PPT制作
5	Spruce/6	李雨涵	张田甜	女	学硕	均衡型	木材解剖	报告
			齐翡翠	女	学硕	行动型		文献检索梳理
			陈晶宇	女	学硕	启动型		文献检索梳理
			夏梦园	女	专硕	反思型		PPT制作
			李雨涵	女	学硕	均衡型		报告
			吕子琦	女	专硕	经验型		文献检索梳理

6	Poplar/7	荆文韬	荆文韬	男	学硕	启动型	木材水分	文献检索
			董天禹	男	学硕	启动型		文献检索
			曹坤彬	男	学硕	想象型		汇报
			杨冲	男	学硕	经验型		文献检索
			王艺达	男	学硕	决定型		文献梳理
			刘格池	女	学硕	启动型		汇报
			王志闯	男	学硕	经验型		PPT制作
7	Ginkgo biloba/6	金奕霖	简旭瑞	男	专硕	经验型	木材水分	文献检索
			韦诚淇	男	专硕	经验型		文献检索
			金奕霖	男	专硕	均衡型		汇报
			刘旭东	男	专硕	启动型		PPT制作
			王进源	男	专硕	经验型		PPT制作
			叶子豪	男	学硕	启动型		汇报
8	Ginkgo/7	王金波	陈心怡	女	学硕	经验型	木材水分	PPT制作
			俞璐薇	女	学硕	启动型		PPT制作
			燕诗琪	女	学硕	想象型		PPT制作
			任传喆	男	专硕	想象型		文献检索梳理
			张傲淇	男	专硕	决定型		文献检索梳理
			王金波	男	学硕	反思型		文献检索梳理
			赵丹丹	女	专硕	决定型		文献检索梳理
9	Willow/7	李瀛	钟焄月	女	专硕	启动型	木材解剖	PPT制作、汇报
			殷佳雯	女	专硕	启动型		文件检索
			朱素雅	女	专硕	经验型		PPT制作、汇报
			朱琳	女	专硕	思考型		文件检索
			赵俊博	男	学硕	想象型		材料梳理
			张坤祥	男	学硕	行动型		材料梳理
			李瀛	男	学硕	思考型		材料梳理

注：分工包括但不限于文献检索、材料梳理、PPT制作、口头报告等，报告人可1人也可多人。



1



2



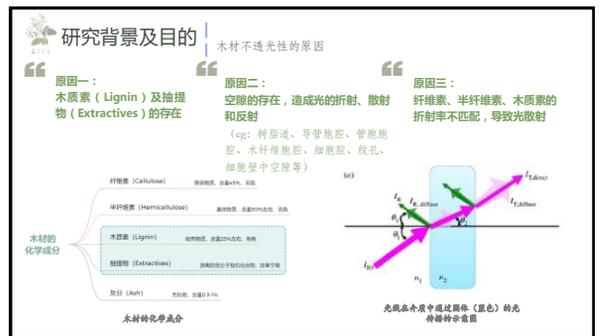
3



4



5



6

前世



以往研究的进展

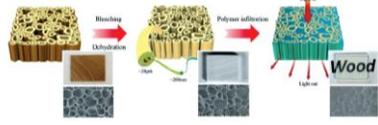
汇报人：崔政

7

前世

以往研究的进展 | 如何获得透明木材 (Transparent wood)

漂白处理：去除木材中的有色物质，使其对光线的吸收作用最小化；
透明木材的漂白处理方法主要有**次氯酸钠法**、**亚氯酸钠法**、**亚硫酸钠法**、**生物酶法**以及**过氧化氢法**。
填充聚合物：选择**折射率接近1.53的高透明、无色聚合物**充分填充木材空隙，减少或消除内部光散射与折射。
 (纤维素和半纤维素的折射率为1.53。)



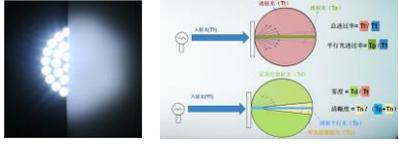
透明木材的制备流程示意图

8

前世

以往研究的进展 | 光学性能如何评价

两个概念：
透光率 (Optical transmittance)：表示光线通过介质的能力，是透过透明或半透明体的光通量与入射光通量的百分率。
雾度 (Optical haze)：透明或半透明材料的内部或表面由于光漫射造成的云雾状或混浊的外观，以漫射的光通量与通过材料的光通量之比的百分率表示，是透明或半透明材料光学透明性的重要参数。



透光率和雾度示意图

9

前世

以往研究的进展 | 前人都研究出了点啥？

2016年	2016年	2017年	2020年
Berglund	胡良兵团队	Tiwari	Zhang
亚氯酸钠(NaClO ₂)	亚硫酸钠(Na ₂ SO ₃)	亚氯酸钠(NaClO ₂)	亚硫酸钠(Na ₂ SO ₃)
聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)	环氧树脂	聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)	环氧树脂
透光率91.7%	透光率79.4%	透光率70.0%	透光率(92%)
雾度48.9%	雾度68.7%	雾度49.3%	雾度(97%)

虽然透明木材的雾度是可以调节的，但通常还是会超过40%，因此同时实现高透光率和超低雾度仍然是开发可持续来源的木质玻璃替代品的巨大挑战。

10

今生



研究方法及手段

汇报人：苏梦瑶

11

今生

研究方法及手段 | 实验材料

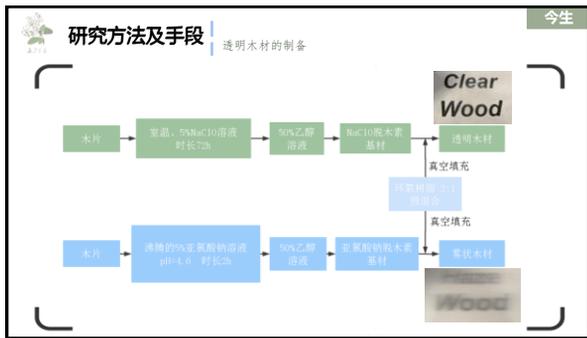
- 截木块 密度454±23.35kg/m³ 来源于Walnut Hollow Company
- 次氯酸钠溶液 (5%，实验室等级) 来源于Carolina Biological Supply Company
- 亚氯酸钠 (NaClO₂, 80%) 和醋酸 来源于Sigma-Aldrich
- 环氧树脂 (#300树脂和#21非发红环脂胺固化剂) 来源于AeroMarine Products, Inc.
- 乙醇 (50%) 和去离子水



截木块制得的原木片

参考文献: Jia C, Chen C, Mi R, et al. Clear wood toward high-performance building materials[J]. ACS nano, 2019, 13(9): 9993-10001.

12



13

研究方法及手段 | 材料特性的表征方法

根据以下公式计算透明木材/雾状木材中的木质体积分数（即纤维素、半纤维素、木质素的总体积分数）： $\phi_w(\%) = V_w/V_{tot} \times 100\%$ ； $V_w = (\rho_{wm} \times \omega_w) / \rho_w$ 。（不同木材体积分数的试件通过调节脱木素时间而获得）。

根据以下公式计算透明木材/雾状木材的空隙体积分数： $\phi_v(\%) = (1 - \phi_w) \times 100\%$ ； $\phi_w = (\rho_w - \rho_o) \times \phi_w / \rho_o \times 100\%$ 。

使用测偏仪 (Uvisel, Horiba scientific, France) 在400~800nm波长范围内测量环氧树脂的折射率。

14

研究方法及手段 | 材料特性的表征方法

- 使用场发射扫描电子显微镜观察木材样品的形态；使用原子力显微镜 (AFM) 观察纳米纤维素材料的形态。
- 使用配有积分球的紫外分光光度计测量透射率和雾度；对样品进行光散射方面测量。
- 通过稳态激光红外相机测量样品的热导率。
- 使用拉伸试验机 (Instron) 测量样品的机械性能。每次测定使用四个样品，并给出平均值。

15

肆 结果分析与讨论

汇报人：梁振恒、王瑜琦

16

结果分析与讨论 | 透明木材表征

透明木材表征 (Transparent Wood Characterization) includes:

- 微观形貌 (Micro-morphology):** 三大素含量 (Three main components content), 壁层结构 (Wall structure).
- 光学性能 (Optical properties):** 透光率&雾度 (Transmittance & haze), 光散射 (Light scattering).
- 热学性能 (Thermal properties):** 导热系数 (Thermal conductivity).
- 力学性能 (Mechanical properties):** 抗拉强度 (Tensile strength), 断裂伸长率 (Elongation at break).

17

结果分析与讨论 | 三大素含量

Original wood composition:

- 纤维素 (Cellulose): 42.70%
- 半纤维素 (Hemicellulose): 18.14%
- 木质素 (Lignin): 22.34%

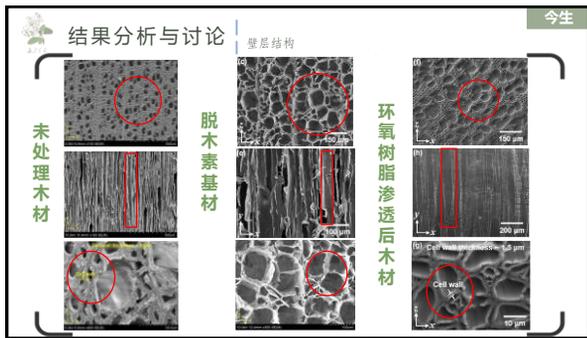
脱木素后 (After delignification):

- 纤维素 (Cellulose): ↑
- 半纤维素 (Hemicellulose): ↓
- 木质素 (Lignin): ↓

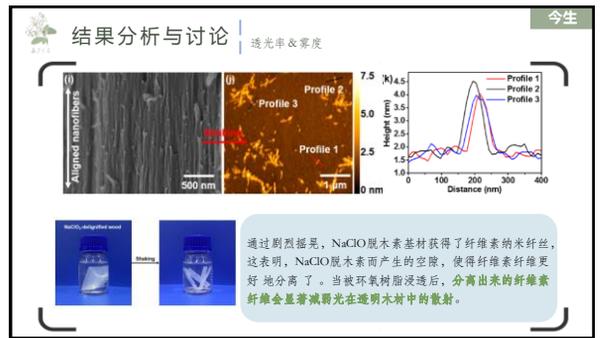
NaClO脱木质素基材的纤维素相对含量高于NaClO₂脱木质素基材，同时其半纤维素的相对含量也更低。

Component	Original wood (%)	NaClO-delignified wood (%)	NaClO ₂ -delignified wood (%)
Cellulose	42.70	~55	~45
Hemicellulose	18.14	~10	~15
Lignin	22.34	~10	~15

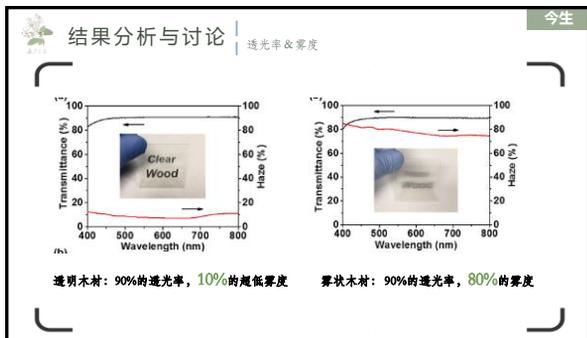
18



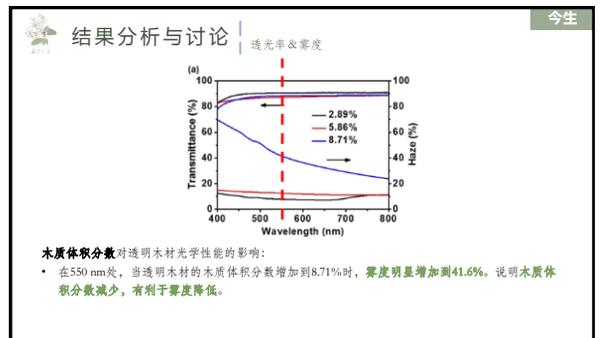
19



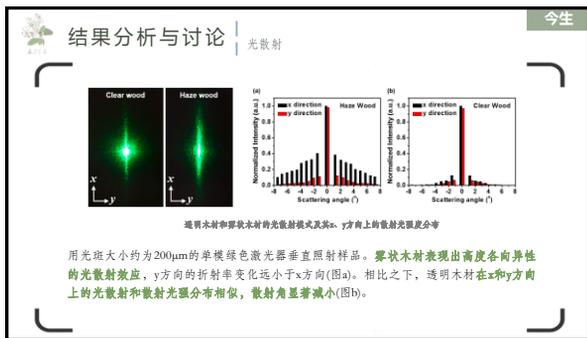
20



21



22



23

结果分析与讨论 | 高透光率及低雾度的原因

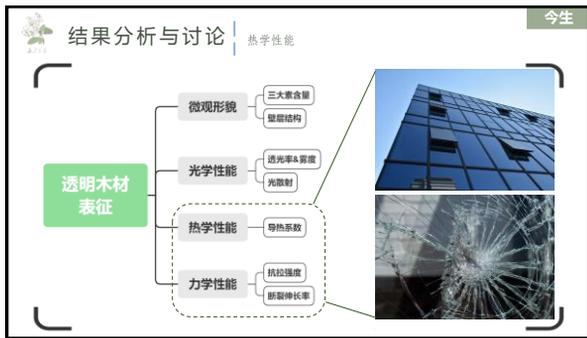
NaClO脱木素基材具有高度多孔微结构, 细胞壁薄, 纤维素纤维间的空隙更大。这使得环氧树脂很容易进入细胞壁的空隙和纤维素纤维之间, 形成致密的结构。

透明木材空隙体积分数0.26%, 远小于雾状木材(4.44%)。

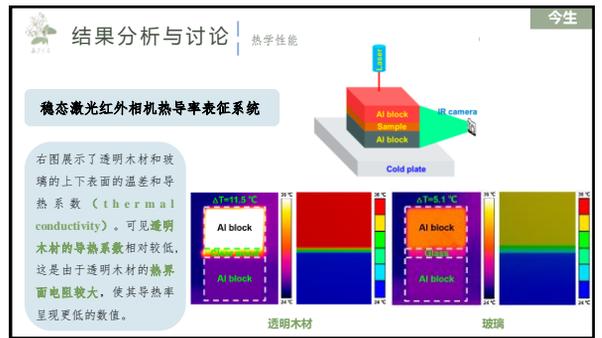
NaClO脱木素基材中更多的木材成分被去除, 产生了更多的空隙。被分离的小纤维极大地减弱了光在透明木材中的散射。

假木所制透明木材中木质体积分数远低于其他树种制得的透明木材。低木材组合量导致散射中心数量减少。

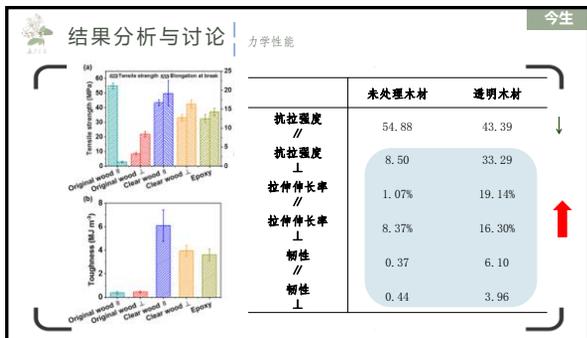
24



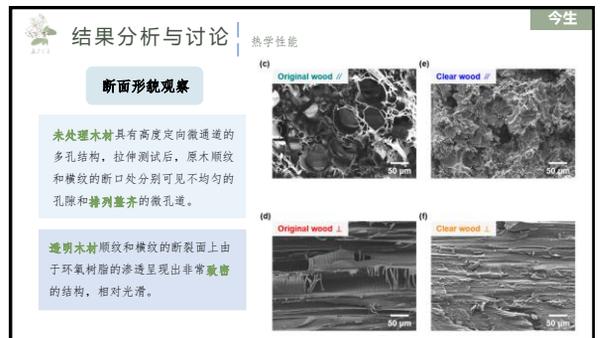
25



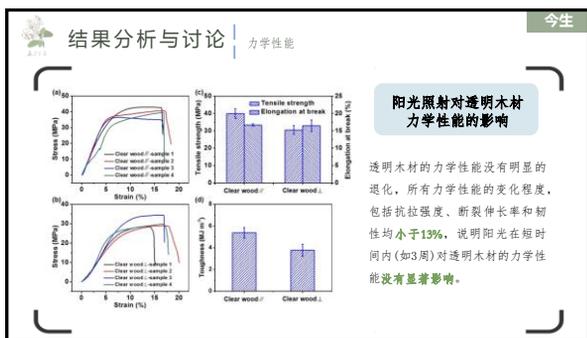
26



27



28



29



30

今生

伍

透明木材的应用

汇报人：杨力源

31

今生

透明木材的应用 | 建筑材料

透明木材特殊光学性能、优异保温性能和力学性能使其有望成为**新型节能建筑材料**，赋予**建筑物美观、安全、环保、保温**等特性。

木材纵向细胞可以传导光

左图，光通过玻璃，其强弱存在明显差异。右图，光通过透明木材，光强分布均匀。

(a) 透明木材在室内时光照的分布示意图；
 (b) 建筑采用透明木材应用于窗户的示意图；
 (c) 玻璃的木材构造图；
 (d) 透明木材在太阳辐射条件下使用 Q_{in} 、 Q_{out} 、透明木材和普通玻璃的室内温度；
 (e) 分别用玻璃、透明木材、0.35kATD/透明木材和0.75kATD/透明木材作为顶层隔热1h管外风压后培养两天的其内部温度分布图

32

今生

透明木材的应用 | 发光材料

透明木材的光散射并非只发生在材料的表面，而是由材料内部的界面间隙共同作用引起的，因此通过加入**发光材料**，利用内部的光散射作用，透明木材即具备在特定条件下成为**光源或发光建筑材料**的可能。

(a) 加入 CdTe 的透明木材在405nm激光照射下的荧光图像；
 (b) 加入 CdTe 的透明木材在405nm激光照射下的白光图像；
 (c) CdTe 透明木材的吸光和光致发光曲线（实线为：透明木材，虚线为： CdTe 透明木材）

33

今生

透明木材的应用 | 光伏器件

有效的光管理能够提高太阳能电池整体转换效率。透明木材的高透明和高聚度特性，能够在**透过大量光线**的同时**增加光线的传播路径**，在**光管理**方面是有利的。

(a) 透明木材作为硅化银太阳能电池的光学原理；
 (b) 透明木材作为硅化银太阳能电池的显微图；
 (c) 透明木材作为有机硅太阳能电池器件的基底在不同电压下的颜色变化；
 (d) 在透明木材基底上附着PVL0薄膜作为可调控智能窗户

34

今生

透明木材的应用 | 其他应用

透明磁性材料

热能存储材料

(a) 透明透明木材；
 (b) Fe_3O_4 添加量对透明木材磁性的影响曲线；
 (c) 热储能透明木材在加热和冷却时光学性质的变化；
 (d) 红外热像仪记录的具有热储能透明木材和玻璃在60°C热循环图像

35

来世

陆

未来展望及研究启发

汇报人：杨萌

36

未来展望及研究启发 | 未来展望：研究中的问题及改进方向

阳光下暴露3周，透明木材呈现**微黄色**。
紫外线稳定性较之玻璃尚有不足。

透明涂料涂覆木材表面，形成紫外线保护层。

400nm-800nm波长区域**透光率略有下降**。
550 nm波长处，**雾度从10.1%增加到15.0%**。

37

未来展望及研究启发 | 未来展望：研究中的问题及改进方向

生产效益与生态文明建设之间的矛盾

次氯酸钠具有强氧化性，其对环境特别是水体环境具有一定危害性（致使氨离子浓度上升；影响水体环境的PH平衡等）。

实验原料的革新；
绿色化学品成为首选；
木材加工废弃物的利用；
减少环境污染和生态破坏。

38

未来展望及研究启发 | 未来展望：研究中的问题及改进方向

学术研究与工业生产实践之间的差距

化学试剂充分扩散到大的木块中(例如长度、宽度和厚度超过10厘米)进行化学处理是具有挑战性的。

进一步了解化学试剂在木材中的扩散行为；
化学处理小尺寸贴面(薄木片/精皮)，随后组装成大的面板。

Large-Size Transparent Wood for Energy-Saving Building Applications.

作者: Hong Xiang, Zhen-Fang Liu, Yu-Wei Wang, Rui-Biao Zhang, Xian-Lin Guo, Shi-Bin Zhang
来源: Hefei Forestry University, College of Material Science and Engineering, 158 Lingshan Road, Ruian District, 311002, Hefei, Anhui, China; Yangzhou University, College of Civil Engineering, 158 Huayang 1 Road, 225127, Yangzhou, China. (xh) ... 0017

39

未来展望及研究启发 | 研究启发：小组成员的收获与启示

- 丰富知识储备**：掌握了一种高木质素脱除率、高半纤维素相对脱除率、能够保持木材微通道结构完好的木质素脱除方法，可应用于之后的改性研究。
- 借鉴实验设计**：“双重对照”——空白对照组+同类研究其他方法处理组，更加说明问题、突出研究亮点。
- 启迪研究方向**：透明木材环保胶黏剂的研发，大有可为？研发透明的环保胶黏剂，用来粘接透明木材刨花/木片/单板……
- 增强专业认同**：木材制品行业对于中国实现碳达峰和碳中和具有重要意义，北林材料人任重道远。

40

总结 | 我们想要带领大家解锁的新视角

构造 ↔ 性能 ↔ 功能

41

参考文献

- [1]Jia C, Chen C, Mi R, et al. Clear wood toward high-performance building materials[J]. ACS nano, 2019, 13(9): 9993-10001.
- [2] Chen C, Kuang Y, Zhu S, et al. Structure-property-function relationships of natural and engineered wood[J]. Nature Reviews Materials, 2020:1-25.
- [3]张津. 耐高温高湿柔性透明木材基交流电致发光器件的制备及性能研究[D]. 南京林业大学, 2020.
- [4]陆弘毅, 丁春香, 程磊磊, 潘明珠. 透明木材的性能及其应用研究进展[J]. 高分子通报, 2021(07):13-26.
- [5] Zhu M, Song J, Li T, et al. Highly anisotropic, highly transparent wood composites[J]. Advanced materials, 2016, 28(26): 5181-5187.
- [6] Li Y, Fu Q, Yu S, et al. Optically transparent wood from a nanoporous cellulosic template: combining functional and structural performance[J]. Biomacromolecules, 2016, 17(4): 1358-1364.
- [7] Yaddanapudi H S, Hickerson N, Saini S, et al. Fabrication and characterization of transparent wood for next generation smart building applications[J]. Vacuum, 2017, 146: 649-654.
- [8] Zhang L, Wang A, Zhu T, et al. Transparent wood composites fabricated by impregnation of epoxy Resin and W-Doped VO2 nanoparticles for application in energy-saving windows[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2020, 12(31): 34777-34783.
- [9] Xia R, Zhang W, Yang Y, et al. Transparent wood with phase change heat storage as novel green energy storage composites for building energy conservation[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 296: 126598.
- [10] Montanari C, Li Y, Chen H, et al. Transparent wood for thermal energy storage and reversible optical transmittance[J]. ACS applied materials & interfaces, 2019, 11(22): 20465-20472.

42

 成员分工

姓名	分工
董美合	文献检索, 主题探讨, PPT模板设计, 第一章制作、汇报
崔 欣	文献检索, 主题探讨, 第二章制作、汇报
苏梦福	文献检索, 主题探讨, 第三章制作、汇报
梁振煜	文献检索, 主题探讨, 第四章 (I) 制作、汇报
王瑜瑶	文献检索, 主题探讨, 第四章 (II) 制作、汇报
杨力源	文献检索, 主题探讨, 第五章制作、汇报
杨 萌	文献检索, 主题探讨, 协调分工, 第六章制作、汇报, PPT汇总校对

43

请大家批评指正!



透明木材的前世今生
—从木材功能化改性
解锁木材解剖研究新视角

董马丁香

44

高等木材学2023小组报告打分表

序号	组名/人数	组员	评分标准							总分/10
			内容清晰易于理解 /3	设计紧凑逻辑性强引人入胜 /2	语言流畅生动 /1	PPT美观图文并茂与讲解配合度高/1	时间控制良好 /1	引入专业英语 /1	有参考文献和成员分工/1	
1	Maple/7	李淼*、王雪纯*、王一诺、车皓莹、穆雨晴、刘韦良、李傲	3	2	0.5	1	1	0	1	8.5
2	Podocarpus macrophyllus /7	周乔佳、万晨琪*、黄武杰、刘洋、赵安瞳、朱镇、吴嘉豪	2.5	2	0.5	1	1	1	1	9
3	Cypress/6	熊慧璟*、刘欣然*、付爽*、田俊*、詹志斌、闫雪莹	2.5	2	1	1	1	0.5	1	9
4	Pine/7	林子琪、彭旭东*、陈佳俊*、侯博晗、张立仁、何忠伟、何雄坤	2.5	1.5	1	0.5	1	0.5	1	8
5	Spruce/6	李雨涵*、张田甜、齐翡翠、陈晶宇、夏梦园、吕子琦	3	2	1	1	1	1	1	10
6	Poplar/7	荆文韬、曹坤彬*、刘格池*、董天禹、杨冲、王艺达、王志闯	2.5	2	0.5	0.5	1	1	1	8.5
7	Ginkgo biloba/6	金奕霖*、叶子豪*、简旭瑞、韦诚淏、刘旭东、王进源	2.5	1.5	1	0.5	1	0.5	0.5	7.5
8	Ginkgo/7	王金波、陈心怡、俞珺薇、燕诗琪、任传喆、张傲淇、赵丹丹	3	1.5	1	1	0.5	1	1	9
9	Willow/7人	李瀛、钟烱月*、朱素雅*、殷佳雯、朱琳、赵俊博、张坤祥	2.5	1.5	1	0.5	1	1	1	8.5

组长

报告人*

高等木材学2023小组报告记录表

序号	组名/人数	组员	具体评价: two stars and one wish
1	Maple/7	李淼*、王雪纯*、王一诺、车皓莹、穆雨晴、刘韦良、李傲	star 1: PPT中图片、表格、动画又详实、精美、准确、引人入胜。 star 2: 主题鲜明, 详细介绍了废气吸附法微孔, 中孔压汞法, 内容全面 one wish: 讲解者语速过快, 与观众互动不足, 希望可增加互动, 放慢节奏
2	Podocarpus macrophyllus /7	周乔佳、万晨琪*、黄武杰、刘洋、赵安瞳、朱镇、吴嘉豪	star 1: 内容逻辑性强, 知识点有回顾, 有互动性, 由思维导图串联解 star 2: PPT图文并茂, 动画引入性强, 分析方法全面, 时间把控良好 one wish: 讲解者对内容不够熟练, 缺乏互动, 部分PPT内容过多, 听者不易理解
3	Cypress/6	熊慧璟*、刘欣然*、付爽*、田俊*、詹志斌、闫雪莹	star 1: 讲解思路清晰, 重点突出, 设计合理, 便于理解汇报内容。 star 2: 引用多种分析模型, 介绍了三种仿生典型案例, 人员分工明确, 团队协作良好 one wish: PPT展示不够直观, 图片可优化, 后半部分讲解速度过快, 思考有所局限, 可针对问题建立有效关联
4	Pine/7	林子琪、彭旭东*、陈佳俊*、侯博晗、张立仁、何忠伟、何雄坤	star 1: 讲解配合板书, 增加与听众互动, 便于理解, 时间把控良好 star 2: 内容研究背景, 方法介绍清晰, 引入多种分析公式 one wish: PPT制作有待提高, 基础和拓展不够突出, 学术语言不够规范, 感谢有待提高
5	Spruce/6	李雨涵*、张田甜、齐翡翠、陈晶宇、夏梦园、吕子琦	star 1: 声音洪亮, 讲解互动性强, 配合板书, 语言具有感染力, 讲解生动引人入胜 star 2: PPT设计优秀, 内容逻辑性强, 图片丰富, 对文献理解透彻, 总结出自己对高水平论文的理解, 且与文献联系紧密, 针对性强 one wish: 板书展示视角有待提升, 部分PPT文字过多, 行间距过小, 不易观看并理解
6	Poplar/7	荆文韬、曹坤彬*、刘格池*、董天禹、杨冲、王艺达、王志闯	star 1: 讲解细致全面, 逻辑清晰, 信息量丰富, 讲解时间把控良好 star 2: 背景知识有回顾, 文献内容丰富, 理解较为深刻 one wish: 讲解热情与感染力有待提高, 汇报题目聚焦不够, 加值可以更加精准, 可增加互动
7	Ginkgo biloba/6	金奕霖*、叶子豪*、简旭瑞、韦诚漠、刘旭东、王进源	star 1: 图片展示丰富, 内容直观, 讲解者对内容理解深刻, 讲解细致清晰 star 2: 讲解逻辑清晰, 视觉展示效果, 形对象生动, 理解更为直观 one wish: PPT内容排版混乱, 重点不突出, 逻辑性有待加强, 讲解缺乏互动, 声音可增大
8	Ginkgo/7	王金波、陈心怡、俞珺薇、燕诗琪、任传喆、张傲淇、赵丹丹	star 1: 讲解者列举了包括透明木材, 超疏水木材, 特种木材, 水分方面新技术, 新发现, 内容详实, 对文献理解透彻。 star 2: PPT美观, 设计精美与讲解配合度高, 讲解有双语设计, 趣味性强, 团队协作良好 one wish: 专业英语词汇对比不够, 讲解者内容之间衔接不够流畅, 学术词汇应多, 总结
9	Willow/7人	李瀛、钟焄月*、朱素雅*、殷佳雯、朱琳、赵俊博、张坤祥	star 1: 讲解者用例子趣味引入, 语言流畅深入, 时间把控良好。 star 2: 专业英语引入, 补充效果良好, 引入了单因素, 主成分分析, 统计方法, 锻炼了结论逻辑与讨论。 one wish: PPT结论部分文字较多, 需进一步提炼, 讲解设计内容应与课程内容相关。

组长

报告人*

课程结课考试样卷 及评价标准（例）

高等木材学结课试题

姓名：_____学号：_____研究方向：_____

- 1、试从木材主成分软化的角度分析吸着等温线在高湿度域曲线上翘的原因与吸湿滞后的机理。（25分）
- 2、什么是木材的吸湿与解吸？讨论吸湿与解吸过程中木材温度的变化情况、原因及影响因素。（25分）
- 3、谈谈你对木材物理环境与化学环境的理解及其相应的表征技术，说明其与自身研究方向的结合之处。（25分）
- 4、简述木材细胞壁主要化学成分的结构与结合方式，讨论其木材干缩湿胀的影响与作用。（25分）

高等木材学结课试题评价标准

1、试从木材主成分软化的角度分析吸着等温线在高湿度域曲线上翘的原因与吸湿滞后的机理。(25分)

研究表明，木材细胞壁中的半纤维素最易发生软化，常温条件下，其在相对湿度80%以上高湿度域即可软化（5分）。

对于吸着等温线在高湿度域的曲线上翘现象，曾一度归因于由毛细管水的凝结造成，但随着“毛细管凝结水在99.5%RH以上才变得显著”等相关研究结果的问世，半纤维素软化理论被提出，其核心思想在于高湿度域半纤维素的软化增加了其流动性，从而在细胞壁中形成了更多可容纳水分的空间，进而造成高湿度域内木材平衡含水率相较于I类和III类吸着等温线的叠加仍有所提升的结果（10分）。

对于吸湿滞后的机理，除有效羟基说、墨水瓶假说、接触角假说等，也有研究者从高分子流变学的角度出发，认为吸湿滞后是由于吸湿过程细胞壁聚合物相对硬化，形成能量不稳定的结构而造成的，故软化可以使得吸湿滞后减小甚至消失。相应的实验支撑包括随着温度或相对湿度的增加，木材吸湿滞后减少，而这两种外界条件的改变都会造成半纤维素的软化（10分）。

2、什么是木材的吸湿与解吸？讨论吸湿与解吸过程中木材温度的变化情况、原因及影响因素。(25分)

当空气中的水蒸气压力大于木材表面的时，木材从空气中吸收水分的行为成为吸湿；而当空气中的水蒸气压力小于木材表面的时，木材中水分向空气中蒸发的行为成为解吸。二者是木材吸湿性的体现（8分）。

对于吸湿过程，由于吸着水分子与木材中的游离羟基形成氢键结合而放热，造成吸湿初期木材温度升高，随后逐渐降温直至与环境达到热平衡状态（5分）。反之，对于解吸过程，由于吸着水分子与木材之间的羟基发生断裂而吸热，导致解吸初期木材温度降低，随后逐渐升温直至与环境达到热平衡状态（5分）。

木材吸湿、解吸初期的升、降温受到真空条件及初始含水率的影响（2分）。在真空条件下，温度的变化更为剧烈；初始含水率越高，温度的变化越不明显，这主要是由于初始含水率越高，多分子层吸水含量约多，其与木材之间的结合能较单分子层吸水低的原因（5分）。

3、谈谈你对木材物理环境与化学环境的理解及其相应的表征技术，说明其与自身研究方向的结合之处。(25分)

木材的物理环境主要涉及木材的空隙（孔隙）结构，其表征技术包括但不限于光学显微镜、扫描电子显微镜、压汞法、气体吸附法、冷\热孔计法等（5分）。木材的化学环境主要涉及木材的细胞壁化学成分、结构及其结合方式，其表征技术包括但不限于紫外分光光度计、激光共聚焦显微镜、拉曼光谱、红外光谱及核磁共振光谱等（5分）。

与自身研究方向的结合之处为开放性作答，共计15分。

4、简述木材细胞壁主要化学成分的结构与结合方式，讨论其木材干缩湿胀的影响与作用。(25分)

木材细胞壁主要化学成分包括纤维素、半纤维素和木质素。

纤维素是由葡萄糖基通过 β 1-4 苷键构成的线性高分子聚合物，其分子链上含有大量亲水性羟基，但其中 2/3 由于相互形成了分子间氢键而构成结晶区从而对吸着水不可及（5分）。纤维素与半纤维素主要通过氢键结合（2分）。相比于纤维素，由多种糖基构成的带有枝链且链长相对较短的半纤维素由于具有无定形结构而富含游离羟基，更具亲水性（5分）。这两种线性碳水化合物的分子链间距将随着吸着水分子进出而增加或缩小，进而造成木材在宏观上的干缩湿胀，且二者的含量与木材干缩湿胀的大小正相关（3分）。

聚糖（主要为半纤维素）与木质素主要通过化学键联接（2分）。木质素是由苯基丙烷结构单元通过醚键及碳-碳键连接而成的网状高分子聚合物，其结构上的亲水性羟基由于在生物合成阶段大部分形成醚键，故与纤维素、半纤维素聚糖相比相对疏水，其含量与木材干缩湿胀的大小负相关。但由于木材中的木质素包裹在纤维素、半纤维素聚糖外侧，呈三维片断结构，对细胞壁的抑制作用有限（8分）。

课程教学总结表 (例)

北京林业大学研究生课程教学总结表

第 2022-2 学期

课程编号:3005019 课程名称:高等木材学 学分:2 学时:32

主讲教师:马尔妮 选课人数:60

任课教师	姓名	马尔妮		林剑							
	职称	教授		副教授							
	工作单位	北京林业大学 材料学院		北京林业大学 材料学院							
	承担学时数	28		4							
考核形式	闭卷考试	开卷考试	口试	讨论	实验报告	读书报告	调查报告	小论文	作业	考勤	其它(小测)
成绩所占比例 (%)		60		20					10		10
阅卷方式 (请划“√”)	<input type="checkbox"/> 微机阅卷 <input type="checkbox"/> 统一阅卷 <input checked="" type="checkbox"/> 任课教师阅卷										
<p>1. 研究生学习情况 (如研究生对该课程的学习兴趣、知识点的掌握情况、总体满意度、期望等):</p> <p>大部分学生对本课程充满兴趣,能够认真学习所授内容,并积极参与课程互动及讨论环节;同时,也能够并结合本人所在的研究方向提出不同问题,并尝试运用课程所学知识解释、解决这些问题。总体而言,授课对象对课程的教学内容、教学节奏和教学方式都比较满意。</p> <p>2. 教学体会和教学方法总结:</p> <p>1) 全程采用参与式模式,通过科学问题启发学生思考,基于小组讨论培养学生自主分析问题、协作解决问题的能力,激发学生的学习兴趣和创造思维。</p> <p>2) 引入包括授课教师本人在内的最新科研成果,提升授课内容的深度和前瞻性,使学生能够及时把握国际相关研究动态。</p> <p>3) 充分利用多种教学视频、教具,以及教学互动平台和问卷星,避免枯燥而抽象的理论知识,使教学内容更直观、丰富、易理解。</p> <p>4) 结合教学内容针对木材解剖研究新技术设计小组报告环节。后期的问卷调查表明,这样的学习方式不但有利于学生更为清晰地掌握专业知识,更能够有效锻炼他们文献检索、PPT制作、学术报告及团队协作能力。</p> <p>3. 教学中存在的问题及今后教学改革思路:</p> <p>本年度授课期间邀请国内知名学者开展题为“百闻不如一见——从宏观到微观,辨微解构知木性”的专题讲座,作为授课内容的拓展和延伸。后期间卷调查显示,86.4%的同学认为该专题拓宽了授课内容的广度;但也有11.4%的同学认为讲座的选题可以进一步优化。此外,部分家具设计、包装方向的同学表示知识难度篇大,今后将进一步优化教学内容,权衡不同专业方向学生的学习需求。</p> <p style="text-align: right;">主讲教师签名:  2022 年 月 日</p>											

注: 1. 任课教师栏应填写该课程本学期所有任课教师相关信息;

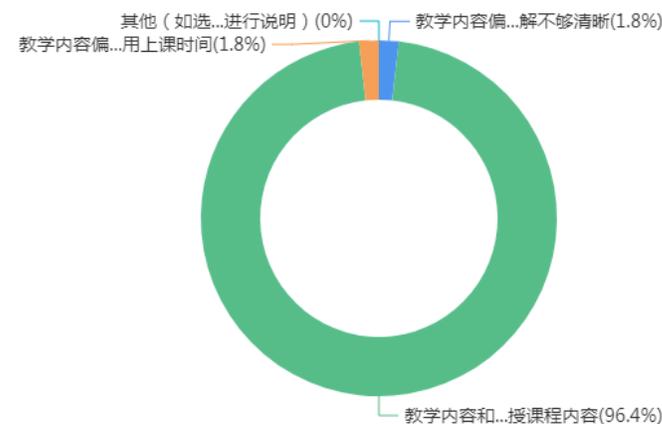
2. 该表由主讲教师签字后连同成绩单打印件(各一式两份)提交学院研究生管理办公室。

自制个性化调查问卷报告（例）

自制个性化调查问卷报告例

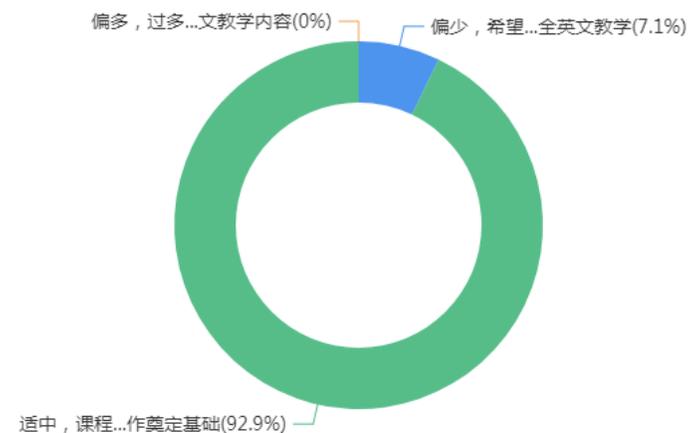
1、你认为本课程的教学难度、授课速度和讲解清晰度是怎样的：

选项	数量	占比
教学内容偏难、授课偏快、讲解不够清晰	1	1.8%
教学内容和授课速度适中、能够比较清晰地讲授课程内容	54	96.4%
教学内容偏易、授课偏慢、有些内容安排自学即可，不用占用...	1	1.8%
其他（如选择，请在最后进行说明）	0	0%



2、你对课程中专业英语元素构成的感受是怎样的：

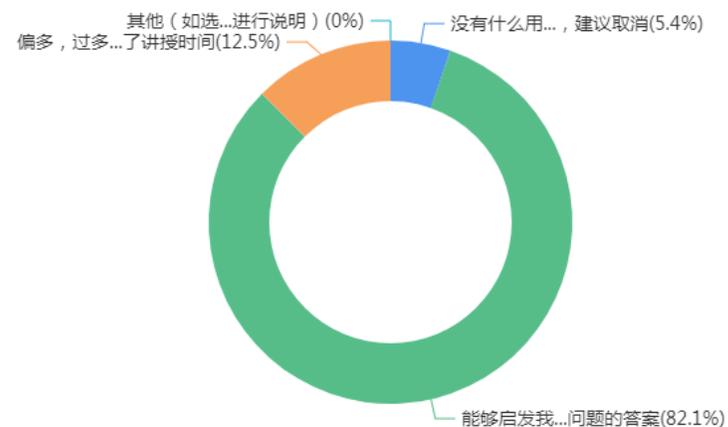
选项	数量	占比
偏少，希望与国际接轨，加大专业英语比重转变为双语教学或...	4	7.1%
适中，课程涉及的专业英语词汇和英文文献引用能够培养我的...	52	92.9%
偏多，过多占用了中文内容学习时间，希望酌情删减并补充新...	0	0%



自制个性化调查问卷报告例

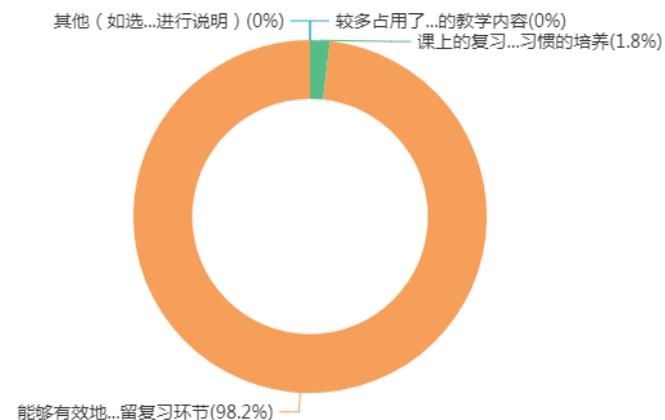
3、你对课程中小组讨论环节的设置感受是怎样的：

选项	数量	占比
没有什么用处，建议取消	3	5.4%
能够启发我积极思考，在交流中表达自己的观点，共同寻找问...	46	82.1%
偏多，过多占用了讲授时间	7	12.5%
其他（如选择，请在最后进行说明）	0	0%



4、关于每次课初始的复习环节，你的感受是怎样的：

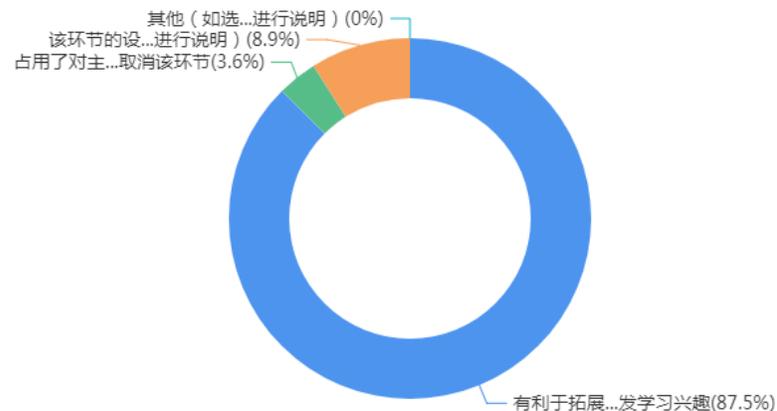
选项	数量	占比
较多占用了上课时间，建议取消改为新的教学内容	0	0%
课上的复习环节使我产生了依赖心理，不利于我课后自主整理...	1	1.8%
能够有效地帮助我回顾上次课内容，明确知识的逻辑性、难点...	55	98.2%
其他（如选择，请在最后进行说明）	0	0%



自制个性化调查问卷报告例

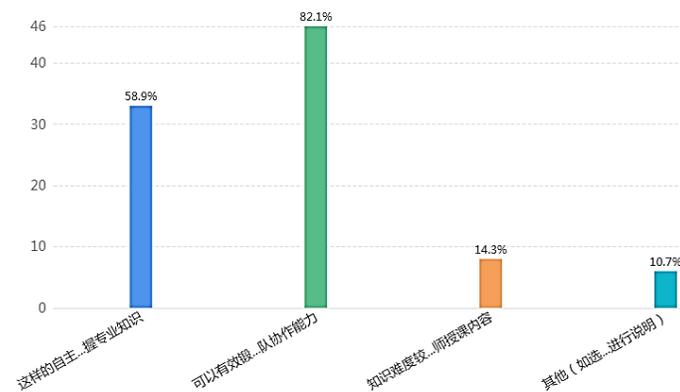
5、你对专题讲座环节的设置，感受是怎样的：

选项	数量	占比
有利于拓展课程内容，提升我对专业知识的深度和广度，激发...	49	87.5%
占用了主干课程内容的讲授时间，建议取消该环节	2	3.6%
该环节的设置可以保留，但讲座的选题可以进一步优化（如有...	5	8.9%
其他（如选择，请在最后进行说明）	0	0%



6、你对小组报告环节的设置，感受是怎样的（多选）：

选项	数量	占比
这样的自主学习方式有利于我更清晰地掌握专业知识	33	58.9%
可以有效锻炼我的文献检索、PPT制作、学术报告及团队协作能...	46	82.1%
知识难度较大，不适合作为小组报告选题案例，建议改为教师...	8	14.3%
其他（如选择，请在最后进行说明）	6	10.7%



课程改革教研论文



主管 / 工业和信息化部
主办 / 电子工业出版社有限公司

主编 / 王传臣
编辑部主任 / 周彤
执行主编 / 肖博爱
编辑 / 邢帆 李冲 李跃

编辑出版 / 《工业和信息化教育》编辑部
通信地址 / 北京市万寿路 173 信箱
邮政编码 / 100036
编辑部地址 / 北京市丰台区万丰路金家村
288 号院华信大厦 1101 室

投稿邮箱 / iite@phei.com.cn
网址 / www.iite.com.cn
投稿电话 / 010-88254486 (高教)
010-88254563 (职教)
发行电话 / 010-88254491
广告咨询 / 010-88254491

订阅方式 / 本刊发行部
广告发布登记号 / 京海市监广登字 20210011 号
国际标准连续出版物号 / ISSN 2095-5065
国内统一连续出版物号 / CN 10-1101/G4
定价 / 20 元
印刷 / 北京盛通印刷股份有限公司
出版日期 / 每月 25 日

本刊声明

本刊所登作品，一律文责自负。

本刊鼓励原创作品，杜绝刊登盗用、拼凑等类文章。本刊内容版权归本杂志编辑部所有，凡引用时必须注明稿件源于《工业和信息化教育》杂志。

作者向本刊投稿，视同将所发表文章的信息网络传播权、改编权、汇编权等权利转让给本刊。如作者不同意将文章纳入互联网期刊数据库，请在投稿时加以说明，本刊将做适当处理。

工业和信息化教育

Gongye He Xinxihua Jiaoyu

Industry and Information Technology Education

2021年8月刊 (总第104期)

顾问委员会

(以姓氏笔画为序)

马必学 王越 王扬南 王树国
王晓锋 朱峰 刘志刚 孙卫平
张乃通 张尧学 武马群 钟义信
傅丰林

编辑委员会

主任委员 (以姓氏笔画为序)

王希勤 朱宏 陈平 黄才华

委员 (以姓氏笔画为序)

王健 王开宇 王成华 王志功
毛桂平 古天龙 卢小平 史宪美
吕超 刘发林 刘宝庆 刘海燕
孙玲玲 李玉忍 杨冬晓 肖润松
沈毅 张玉臣 张有光 张国印
陈昕 陈晴 陈子珍 周明
郑宝玉 宗士增 战德臣 钟健
段哲民 夏虹 高翠莲 谈振辉
曹峰梅 蒋宁 蒋宗礼 谢晓红
蒲晓蓉 裘松良 谭建伟 颜晓红
潘玉山

本刊是原国家新闻出版广电总局第一批认定的学术期刊，已被中国学术期刊网络出版总库（中国知网）、中国核心期刊（遴选）数据库（万方数据—数字化期刊群）及中文科技期刊数据库（维普资讯）全文收录和检索。

目次

Contents

专业与课程建设

- 1 疫情防控期间“离散数学”课程在线教学的实践与思考
..... 陈建文
- 5 疫情防控期间实质等效导向在线教学探索
..... 徐志宇, 王宁
- 10 疫情防控期间基于OBE教学模式的在线教学效果评价研究
..... 李楠, 段荣霞, 陶炳坤
- 14 疫情防控期间高校在线教学实践及教学模式改革探索
..... 宫淑丽, 丁萌, 曹力
- 19 疫情防控期间基于雨课堂的高校混合式教学实践探索
..... 唐永华
- 24 疫情防控期间“电路”线上教学探索与实践
..... 殷惠莉, 张宇, 宋淑然
- 27 “新工科”背景下人工智能专业建设与教学改革与探索
..... 张颖慧, 刘洋, 那顺乌力吉, 等
- 32 从学生视角谈大学数学类在线课程的设计
..... 张启明, 张明欢, 周欣
- 37 基于BOPPPS模型的混合式教学研究
..... 刘娜
- 42 “C语言程序设计”课程计算思维实践研究
..... 唐建, 王雷
- 47 “新工科”背景下“电工学”课程混合式教学模式研究
..... 寇志伟, 崔啸鸣, 刘月文, 等
- 53 “网页设计与制作”课程思政实践研究
..... 张呈江
- 58 基于用户体验设计的工程创新教学初探
..... 纪阳, 张帆
- 62 “高等木材学”课程“教—学—考”三维联动课程改革与实践
..... 马尔妮, 林剑, 曹金珍
- 67 面向国家大飞机产业需求的适航专业核心课程建设与探索
..... 赵长啸, 王鹏

- 73 以学生为中心的混合式教学模式探索
..... 郑海英
- 78 交通强国理念下课程教学改革与实践
..... 钟倩文, 郑树彬, 彭乐乐, 等

实训与实践探索

- 82 疫情防控期间多形式线上教学模式在“数字电子技术基础”中的实践探索
..... 贾绍芝, 杨杰
- 88 基于实践创新的本科生导师制实践研究
..... 李娜, 黄先莉, 刘守印
- 93 多平台直流电机PWM调速系统设计与实现
..... 马驰, 刘伟铭, 程春雨
- 100 虚拟维修仿真航空器部件拆装维修性研究
..... 吴黎艳, 何赫, 姜文鑫
- 104 基于网络教学平台的“电工实训”课程资源的建设与实践
..... 张国平
- 108 基于北斗卫星导航和GPRS的井盖状态监测系统
..... 王尔申, 舒皖森, 徐嵩, 等

网络化与数字化

- 115 职业院校在线教育发展常态化研究
..... 糜凌飞
- 119 基于混合教学模式的移动学习现状调查及“计算机基础”课程改革对策研究
..... 桂洁, 张鹏飞, 段继光, 等
- 125 面向工程教育的在线自主学习分析研究
..... 潘峰, 张颖译, 纪阳, 等
- 131 浅谈高等院校信息化建设工作
..... 郭蕾

育人环境与文化生态

- 135 大学生人文素养培养的探索与实践
..... 姜顺清, 张翠玲, 邢义通, 等
- 138 知识产权保护中心人员培训体系构建研究
..... 傅启国, 程秀才, 锁福涛
- 142 现代学徒制实施层面的实践探索
..... 李学礼
- 146 职业院校驻企业教师工作站建设实践与探索
..... 段标

“高等木材学”课程 “教—学—考”三维联动课程改革与实践

马尔妮, 林 剑, 曹金珍

(北京林业大学材料科学与技术学院, 北京 100083)

【摘要】 “高等木材学”是木材科学与技术国家级重点学科研究生必修的一门专业基础学位课,旨在夯实研究生从事科学研究的理论基础,以及加强对国内外相关前沿研究的动态把握。针对课程在以往教学中存在的痛点问题,提出“教—学—考”联动育人范式与全要素托举途径,以“教”为基础,以“学”为核心,以“考”为保障,实践“课—教—学”三维协同改革,不仅提升了课程的教学质量与学习效果,而且助力了高层次、精英化人才的培养体系,更对农林院校相关课程的建设具有重要的示范和推动意义。

【关键词】 高等木材学; 教学; 学习; 考核

【中图分类号】 G642 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 2095-5065 (2021) 08-0062-05

0 引言

北京林业大学(以下简称“北林”)木材科学与技术学科是国家重点学科、国务院批准的首批硕士及博士学位授予权学科,也是“211工程”和“优势学科创新平台”重点建设学科。“高等

木材学”是木材科学与技术学科研究生的必修学位课程,是一门重要的专业基础课程。课程一共32学时,主要包括木材物理学和木材解剖学两部分核心内容,旨在通过对基础理论、基本方法及当前国内外研究动态和进展的介绍,达到提高研究生的理论水平和实际研究能力的教学目的,为培养学科科研工作者奠定良好的基础。

近年来,世界一流大学和一流学科建设发展战略的出台对木材科学与技术学科的人才培养提出了挑战^[1-3]。对标新形势下研究生培养的要求,为满足国家战略需求,以及解决企业实际问题,以引领行业发展、引导产业布局,培养具备林业情怀的高层次人才,开展核心课程的改革与建设既是实现培养目标的根本任务,也是有效途径^[4-8]。

收稿日期: 2020-6-21 修回日期: 2021-6-21

作者简介: 马尔妮(1981—),女,北京人,博士,副教授,研究方向为木材物理学、木材保护与改性;

林剑(1986—),男,福建宁德人,博士,副教授,研究方向为木材化学;

曹金珍(1976—),女,江苏苏州人,博士,教授,研究方向为木材保护与改性。

基金项目: 2020年北京林业大学研究生课程建设项目“高等木材学优质课程建设的改革与实践”(项目编号: HXKC2007)。

1 “高等木材学”课程教学存在的问题

基于目标导向教育,分析北林“高等木材学”课程在以往教学工作中存在以下3个问题^[9]。

1.1 教学内容不够全面、教学语言未与国际接轨

据调研,美国弗吉尼亚理工大学、爱达荷大学、加拿大UBC大学、欧洲吕勒奥理工大学、日本京都大学、北海道大学等国际知名高校均设有木材科学相关学科,其研究生的培养虽然未开设集成化的“高等木材学”专业核心课程,但配有“木材解剖”“木材物理”和“木材化学”等分支课程。与国际知名大学相比,北林“高等木材学”课程未涉及木材化学方面的教学内容。由于课程授课对象的构成较为复杂,既包括学术型硕士,也含有专业硕士,同时还涉及木材科学与工程、家具设计、包装工程等多个专业方向,有相当一部分学生在本科阶段未修过“木材化学”课程,这对于研究生期间的科研工作,尤其是针对木材保护与改性、木质复合材料、胶黏剂与涂料等学科的主要研究方向无法起到支撑作用。因此,有必要将“木材化学”的基本理论及应用技术研究一并纳入“高等木材学”的教学中。

英语授课符合经济全球化的发展趋势,同时也是教育改革深化的必然要求。目前,国内一流大学重点学科的研究生核心课程大多采用双语或全英语教学。“高等木材学”的授课对象为已通过大学英语四级考试(且大部分通过英语六级考试)的一年级硕士生,这些学生具有良好的公共英语基础,部分学生在本科阶段学习过“专业外语”课程,这为“高等木材学”融入英语授课奠定了基础。同时,统计表明,木材科学与技术学科每年约有20人次左右的研究生前往北美、欧洲等地接受联合培养及参加学术会议,约有50人次国外专家来校进行学术讲座,这些日益频繁的国际交流活动迫切需要基础木材科学理论知识的授课语言更好地与国际接轨。

1.2 学习模式较为传统、学习资源不够丰富

爱因斯坦曾说过:“提出一个问题往往比解决一个问题更为重要,因为解决一个问题也许只是一个数学上或实验上的技巧问题。而提出新的问题、新的可能性,从新的角度看旧问题,却需要创造性的想象力,而且标志着科学的真正进步^[10]。”然而,传统以讲授为主的学习模式往往使学生的创新思维受到抑制。因此,问题导向式的学习方式将有助于塑造研究生的创新意识和思辨能力。另外,课下的学习拓展资源不够丰富,且尚未得到系统积累与梳理,造成学生自主学习的延伸性较差。

1.3 考核手段过于单一、评价机制不够科学

考核是评价学习情况的主要手段与重要依据,但其形式不应束缚学生的思维能力和创造空间,尤其是要避免学生陷入“死记硬背”的应试模式。目前,在国内大部分农林类兄弟院校中,特别是北林木材科学与技术学科的主要研究生生源高校,“高等木材学”基本以开卷考试或结课报告作为课程的考核方式。常规、单一的考核方式通常也不利于激发学生课下积极复习整理的自主学习习惯。一般而言,“高等木材学”课程以中小班规模进行组织,特别适合开展科学、全面、灵活的过程考核评价机制。

2 “高等木材学”课程的改革与实践

针对“高等木材学”在上述“教、学、考”3个方面的痛点问题,笔者着力打造课程的“教-学-考”联动培养机制,构建“教—学—考”全要素托举途径。①“教”即采用高阶化的教学内容及灵活的教学语言,深化研究生从事科学研究的理论基础,追踪国内外相关的研究前沿;②“学”即践行问题导向式、探究式交互的多元化学习模式,并为研究生提供多维度的学习资源,包括自编教材、建设信息平台,以及邀请国

内外权威专家聚焦学科热点问题与发展趋势,进行学术报告与交流,系统优化研究生的知识结构,提升其产业认知格局;③“考”即实施纳入课后作业、随堂测试、小组报告、期末考试等环节的全过程、立体化考核评价方式,将对知识、能力、素质的考查有机融合。具体改革实践举措如下。

2.1 优化教学内容、强化专业英语

①增设了木材化学相关的教学内容;②提炼了以往“木材解剖”和“木材物理”课程内容。在做好与本科阶段“木材学”课程的衔接和贯通的基础上,深化了基础知识、引入了前沿技术研究,并将授课教师的研究成果纳入教学内容,实现了科研反哺教学、科研引领教学,体现了课程的高阶性与挑战度,展现了“高等”二字在研究生教育中的意义。优化的教学内容与学时分配情况,如表1所示。此外,在课程中融入生态文明思想,培养学生的家国情怀与绿色精神,树立文化自信,厚植专业志趣。

此外,课程讲授的知识点均配有相应的专业英语词汇;对于研讨的环节,提前安排研究生课下阅读英文文献,形成专业英语的学习气氛,培养学生的检索与阅读英文资料、撰写英文科技论文、与国外学者进行学术交流的能力,开阔学生的国际化视野。同时,这也对学科近年来不断增

长的外国留学生的专业知识学习起到了现实而有效的辐射作用。

2.2 改善学习模式、丰富学习资源

充分发挥互动型、研讨型学习模式的优势,在授课过程中积极引导学提出(质疑)、分析问题(探究)、解决问题(解惑),形成了问题导向式的学习主线;根据教学设计采用思考分享法、头脑风暴法、同伴教学法、学习单法等参与式学习策略,使学生成为课堂的主体,自主学习知识。

在学习资源方面,出版配套教材《木材物理学专论》,与英文专著融会贯通,介绍了木材物性方面的基础理论。同时,建设课程资源数据库,包括英文电子图书、英文期刊文献、专业英语词汇库等,统筹考虑学习资料的系统性、深入性和前沿性,为学生自主学习提供全方位支撑。另外,课程定期邀请国际或国内专家开展专题讲座,并着重使讲座内容与现有教学内容、配套教材相契合,使学习内容紧跟学术前沿;与一批知名学者保持稳定的学术联系,以支撑这种“专家引进”学习模式能够长期进行。

2.3 完善考核手段、改进评价机制

“高等木材学”课程将考核重点落脚于考查研究生理论联系实际的综合素养,构建专业知识

表1 优化的教学内容与学时分配情况

教学内容	教学主题	学时	设计意图
木材解剖	木材的形成与基本构造	4	夯实基础,做好与本科阶段“木材学”课程的衔接及不同专业方向授课对象的知识融通
	木材解剖构造的变异	4	知识拓展,为学生理解木材结构变异性对科研工作的影响奠定基础
木材化学	木材成分的生物合成与高值化利用	4	知识深化,实现课程的高阶性与挑战度
木材物理	木材中的水分与研究方法	8	引入科研,将授课教师的研究成果纳入教学内容,实现科研反哺教学、科研引领教学
	木材的干缩湿胀	4	
专题讲座	知名学者主题学术报告	4	追踪前沿,结合教学内容邀请国内外专家聚焦热点问题开展交流
专题研讨	特殊材性木材小组口头报告	4	翻转课堂,提升研究生的自主学习能力与团队合作精神,实现知识、能力、素质的协调发展

与木质材料的基础科学问题及应用技术问题的关系。因此，①通过课上的“教”培养学生提出问题的思维习惯；②利用课下的“考”锻炼学生运用理论知识解决实际问题的能力。基于“教”与“考”相互呼应的协同机制，将课后作业、随堂测试、小组报告和期末考试一并纳入评估体系，将一次性考查转变为全过程、立体化的考核体系，优化了形成性评估与总结性评价的权重，加强了非标准化、综合性评估。其意义在于：①积极促进了学生将课下复习变为自学活动的常态；②获得了对教学效果的有效反馈。

3 “高等木材学”课程的建设理念

3.1 夯实基础、拓展前沿

重塑教学内容：①深化基础知识和基本理论，注重课程的高阶性，培养学生解决复杂问题的综合能力和批判性思维；②增设专题拓展环节，聚焦热点问题、追踪研究前沿、关注发展趋势，构筑学生“立地一顶天”的认知格局，从而打造基础实、视野宽的拔尖创新型人才。

3.2 师生协作、教学联动

更新学习模式，突出学生在课堂的中心地位。通过师生互动、生生互动，促进师生协作、教学联动，形成知识转化为能力、能力发展为素质的教学生命线；同时，充分利用雨课堂、问卷星、UMU互动学习平台等教学手段，推进现代信息技术与教学的深度融合。

3.3 和“木”相处、其乐无穷

融入课程思政，践行以“教”育人。深入挖掘课程中的思想政治教育元素，“揭木科学之奥秘、展木技术之魅力、传木文化之底蕴”，科学素养与文化修养兼顾。通过“引人以大道、启人以大智”，使学生得到思想上的成长和内涵式

的发展。秉承和“木”相处、其乐无穷的教学理念，塑造林业初心的价值导向，使优秀人才能够切实支撑行业发展。

4 “高等木材学”课程的建设效果

经过对课程教学内容与教学语言、学习模式与学习资源、考核手段与评价机制等方面的改革，自制个性化调查问卷，及时调研学生对教学效果、学习体验等方面的反馈。结果表明，教师对于教学难度、授课速度及讲解清晰度的把握适中；课程中关于小组讨论组织、英语元素构成、互动复习环节、随堂小测与课后作业的设置可以有效提高教学质量；翻转课堂的设计不但丰富了教学手段，更培养了学生自主学习能力和综合素养。近3年课程教学评价均达到97分以上，部分成果获得北林研究生教学成果二等奖。另外，对于课程学习，近年来，学生平均成绩逐年纵向提升了3到5个百分点，同一学年过程考核平均成绩横向进步了5到10个百分点，不仅达到了课程培养目标，更为研究生后续的科学研究工作奠定了坚实的基础。

5 结语

“高等木材学”课程针对国家对新时代人才的需求，结合木材科学与技术学科的培养目标与学习特点，遵循教育教学发展规律，以“教”为基础，以“学”为核心，以“考”为保障，实践“课—教—学”三维协同改革，形成了“教—学—考”联动育人范式，不但提高了教学质量、打造了优质课程，提升了教师教学能力、建立优质教学团队，完善了高层次、精英化人才的培养模式，更对农林院校相关课程的建设具有重要的示范和推动意义。

【参考文献】

- [1] 钟秉林.扎实推进世界一流大学和一流学科建设[J].教育研究, 2018(10): 12-19.
- [2] 钟秉林, 马陆亭, 贾文键, 等.大学发展与学科建设[J].中国高教研究, 2019(9): 12-15.
- [3] 刘冬冬, 顾秀林, 李碧函.从一流到卓越:“后2020时代”的一流大学建设展望:基于C9高校一流大学建设方案文本的内容分析[J].中国高校科技, 2021(5): 27-32.
- [4] 董万鹏, 何建丽, 张莹, 等.研究生专业学位课程设置的逻辑起点与实践路径[J].教育教学论坛, 2019(41): 163-164.
- [5] 贾鹤鸣, 宋文龙, 张佳薇.“双一流”背景下林业院校学科建设探索[J].科技创新与生产力, 2019(8): 91-93.
- [6] 安黎哲.新时代林科高等教育创新发展的探索与实践[J].中国林业教育, 2020, 38(3): 1-5.
- [7] 陆燕元, 王芳, 潘立.高等林业院校打造优势特色林学学科体系的思考:以西南林业大学为例[J].中国林业教育, 2020, 38(3): 47-52.
- [8] 崔光彩.“双一流”建设背景下林业高校面临的机遇与挑战[J].现代化教育, 2020, 7(40): 92-94.
- [9] 申天恩, 斯蒂文·洛克.论成果导向的教育理念[J].高校教育管理, 2016, 10(5): 47-51.
- [10] 王德明.还学生教学全程质疑权[J].教育与管理, 2010(4): 40-41.

(上接第46页)

- [5] 李幸, 张屹, 黄静, 等.基于设计的STEM+C教学对小学生计算思维的影响研究[J].中国电化教育, 2019(11): 104-112.
- [6] 傅骞, 解博超, 郑娅峰.基于图形化工具的编程教学促进初中生计算思维发展的实证研究[J].电化教育研究, 2019(4): 122-128.
- [7] 陈兴冶, 马颖莹.本土化计算思维评价指标体系的构建与探索:基于1410名高中生的样本分析与验证[J].远程教育杂志, 2020(5): 70-80.
- [8] 朱珂, 贾彦玲, 冯冬雪.欧洲义务教育阶段发展计算思维的理论与实践研究[J].电化教育研究, 2019(9): 89-96, 121.
- [9] 覃丽君.中学生计算思维发展何以可能:基于对2018计算机与信息素养国际测评的多层次分析[J].中国电化教育, 2020(9): 15-21.
- [10] 朱珂, 徐紫娟, 陈婉旖.国际视阈下计算思维评价研究的理论和实践[J].电化教育研究, 2020(12): 20-27.
- [11] 教育部.计算思维教学改革宣言[J].中国大学教学, 2013(7): 7-10, 17.
- [12] 陈国良, 董荣胜.计算思维的表述体系[J].中国大学教学, 2013(12): 22-26.
- [13] Barr D, Harrison J, Conery L. Computational thinking: A digital age skill for everyone[J]. Learning & Leading with Technology, 2011, 38(6): 20-23.
- [14] 房敏, 孙颖, 吕慎敏, 等.基于教学胜任力的师范生计算思维评价量表开发:以斯滕伯格成功智力理论与思维教学理论为支点的探索[J].电化教育研究, 2021(2): 112-120.
- [15] 陈国良, 李廉, 董荣胜.走向计算思维2.0[J].中国大学教学, 2020(4): 24-30.
- [16] 姜洋, 衡红军, 李俊生.基于计算思维层次化认知的大学计算机教学改革实践[J].中国大学教学, 2020(11): 59-63.

北京林业大学参评研
究生精品课程教学质
量评价表（同行专
家、研究生例）

北京林业大学参评研究生精品课程教学质量评价表

(教师及研究生用)

课程名称	高等木材学		开课单位	材料科学与技术学院		
任课教师	马尔妮、林剑		授课地点	学研 A0204		
授课周次	12		授课时间	周五 1-4		
听课主要内容	翻转课堂：木材解剖或木材中水分研究的新技术、新发现					
评价项目和参考标准					参考 分值	评分
教师授课情况	教学态度	仪表庄重，举止大方，精神饱满，按时上下课，严格要求学生			5	5
		备课认真，教学文件齐全			5	5
	教学内容	概念准确，条理清晰，重点、难点突出，分析透彻			15	14
		信息量丰富，能反映本学科最新学术动态，理论联系实际			15	14
	教学方法	采用启发式、互动式教学，注重学生创新精神和思维能力的培养			10	10
		教学方法先进，辅助手段运用得当			10	10
	教学效果	教学组织合理，讲课富有特色，深入浅出，能激发学生的学习兴趣			8	8
		师生互动好，课堂教学气氛热烈			8	8
学生上课情况	课堂纪律	课堂秩序好，到课率高			5	5
	学风印象	尊师重教、举止文明、认真听课、积极思考			5	5
教学队伍	课程负责人	课程负责人师德好，学术造诣高，教学能力强，教学经验丰富，教学特色鲜明			8	8
	教学队伍结构	教学团队中的教师责任感强、团结协作精神好；有合理的知识结构和年龄结构；教师之间授课内容衔接良好			4	4
	教学改革与研究	教学思想活跃，教学改革有创意，积极推动教学改革，成效显著			2	2
总体评价	优秀 (85-100分)	良好 (70-85分)	合格 (60-70分)	不合格 (60分以下)	综合 评分	98
意见和建议	(课堂教学中值得肯定和有待于改进之处) 采用翻转课堂授课形式，激发学生的主动学习兴趣，课堂气氛热烈，恰到好处点评和启发，激励学生更深入的思考和优化。课堂体现了教师学术造诣高，教学能力强。					

备注：对于该课程的意见和建议可以加页，也可发邮件至 liucq03@163.com。

听课 (教师 学生) 签字：

林剑

2023年11月24日

北京林业大学参评研究生精品课程教学质量评价表

(教师及研究生用)

课程名称	高等木材学		开课单位	材料科学与技术学院			
任课教师	马尔妮、林剑		授课地点	学研 A0204			
授课周次	3, 6-12		授课时间	周五 1-4			
听课主要内容	木材解剖学 木材物理学						
评价项目和参考标准						参考 分值	评分
教师授课情况	教学态度	仪表庄重, 举止大方, 精神饱满, 按时上下课, 严格要求学生				5	5
		备课认真, 教学文件齐全				5	5
	教学内容	概念准确, 条理清晰, 重点、难点突出, 分析透彻				15	15
		信息量丰富, 能反映本学科最新学术动态, 理论联系实际				15	15
	教学方法	采用启发式、互动式教学, 注重学生创新精神和思维能力的培养				10	10
		教学方法先进, 辅助手段运用得当				10	10
	教学效果	教学组织合理, 讲课富有特色, 深入浅出, 能激发学生的学习兴趣				8	8
		师生互动好, 课堂教学气氛热烈				8	8
学生上课情况	课堂纪律	课堂秩序好, 到课率高				5	5
	学风印象	尊师重教、举止文明、认真听课、积极思考				5	5
教学队伍	课程负责人	课程负责人师德好, 学术造诣高, 教学能力强, 教学经验丰富, 教学特色鲜明				8	8
	教学队伍结构	教学团队中的教师责任感强、团结协作精神好; 有合理的知识结构和年龄结构; 教师之间授课内容衔接良好				4	4
	教学改革与研究	教学思想活跃, 教学改革有创意, 积极推动教学改革, 成效显著				2	2
总体评价	优秀 (85-100分)	良好 (70-85分)	合格 (60-70分)	不合格 (60分以下)	综合 评分	100	
意见和建议	(课堂教学中值得肯定和有待于改进之处) 上课深入浅出, 且条理清晰, 能吸引学生注意力。 有很多专业英语, 能够和中心很好联系。						

备注: 对于该课程的意见和建议可以加页, 也可发邮件至 liucq03@163.com。

听课 (教师 学生) 签字: 齐翡翠

2023年11月24日

课程获奖

北京林业大学研究生教学成果二等奖

荣誉证书

马尔妮、母军、张扬、曹金珍、林剑：

您的成果木材科学与技术学科“顶天-立地-聚人”
人才培养体系的构建与实践在 2019 年北京林业大学研究
生教学成果评选中荣获校级二等奖。

特发此证，以资鼓励。

北京林业大学

2019 年 11 月 20 日

北京林业大学研究生第六届研究生精品课程

北京林业大学第六届研究生精品课程

荣誉证书

课程名称：高等木材学

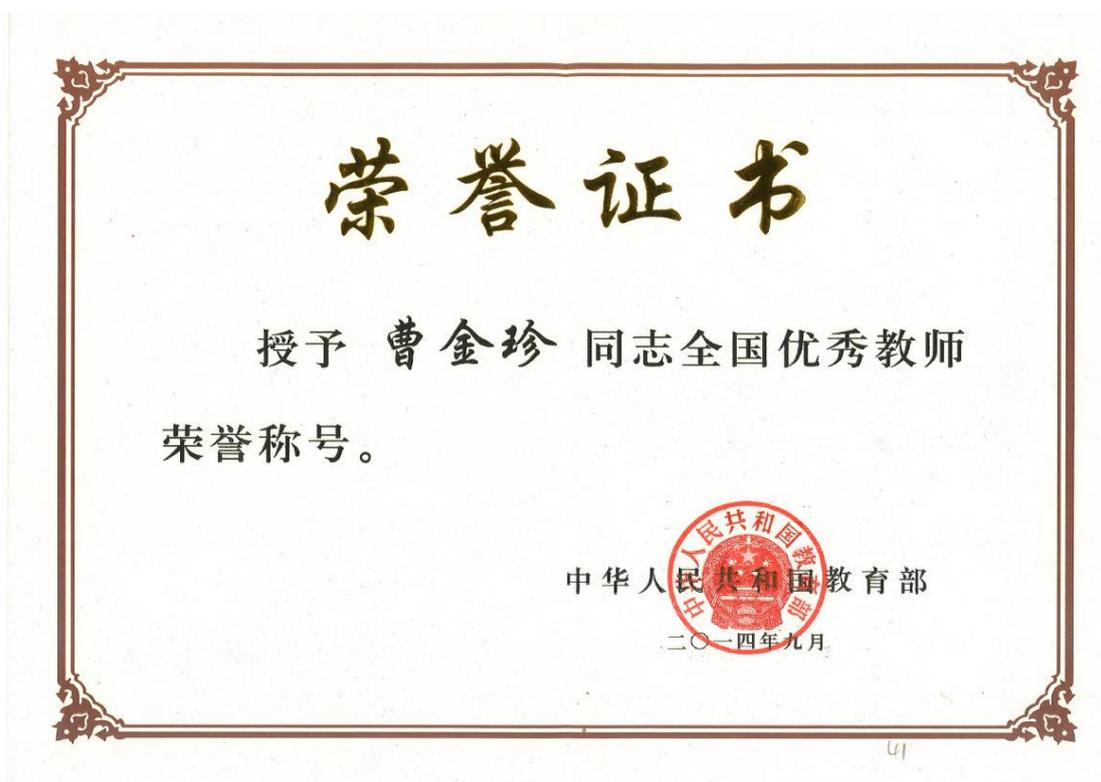
授课教师：马尔妮 林 剑 曹金珍

北京林业大学
2024年1月5日



教学团队获奖

全国优秀教师



北京高校第九届青年教师教学基本功比赛理工类 A 组一等奖



北京高校第九届青年教师教学基本功比赛理工类 A 组最佳演示奖



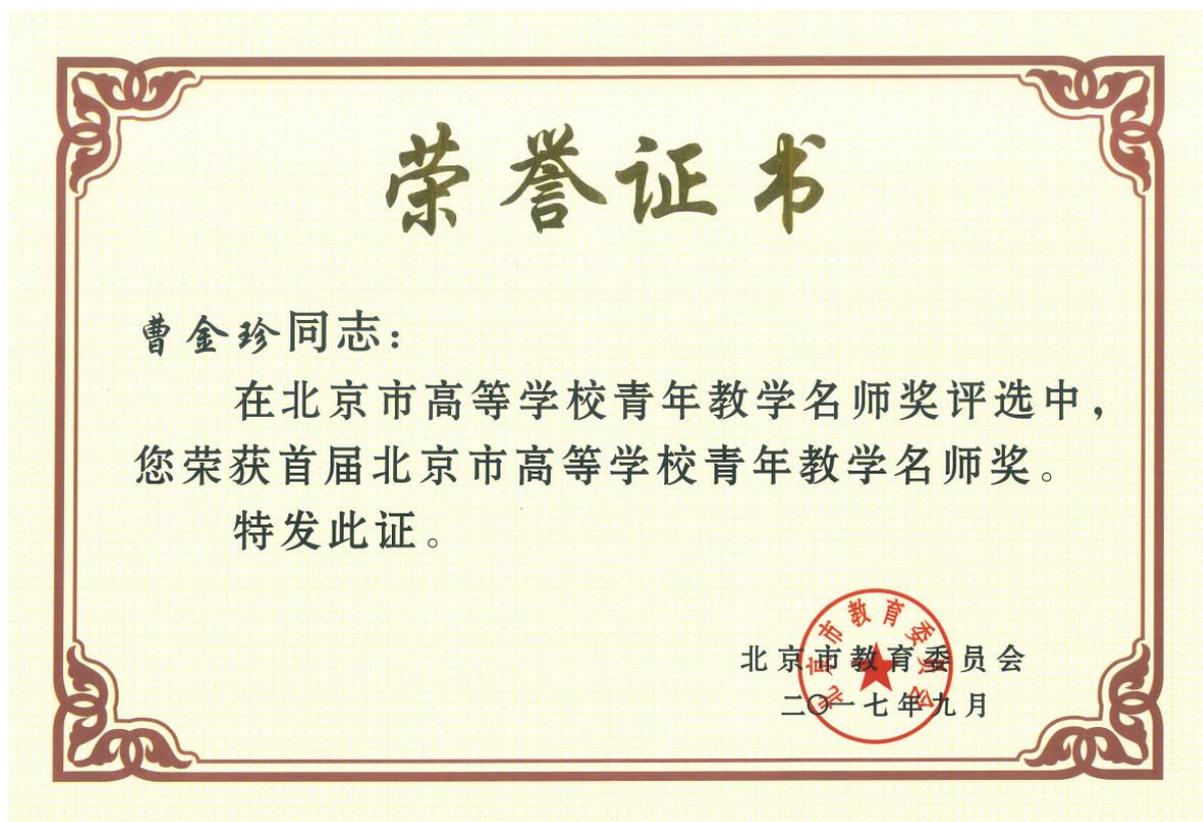
北京高校第九届青年教师教学基本功比赛理工类 A 组最佳教案奖



北京市师德先锋



北京市青年教学名师



北京市科学技术奖三等奖





北京高校第十二届教师教学基本功比赛工科类 A 组优秀指导教师奖

北京高校青年教师教学基本功比赛

ALL BEIJING UNIVERSITIES COMPETITION OF YOUNG TEACHERS' BASIC TEACHING SKILLS

荣誉证书

北京林业大学 马尔妮

在北京高校第十二届青年教师教学基本功比赛中荣获：

工科类 A 组优秀指导教师奖



第一届北京高校教师教学创新大赛三等奖

荣誉证书

为表彰第一届北京高校教师教学创新大赛获奖者，
特颁发此证书。

获奖课程：木材学A

主讲教师：马尔妮

团队成员：曹金珍 商俊博 林 剑

获奖等级：三等奖

北京市教育委员会高等教育处

二〇二一年五月

北京市普通高校优秀本科毕业设计（论文）优秀指导教师

荣誉证书

马尔妮同志：

您指导的本科毕业设计（论文）《基于平衡态及非平衡态转折点法表征木材纤维饱和点的差异研究》，获评为2021年北京市普通高校优秀本科毕业设计（论文），您获评为优秀指导教师。

特发此证，以资鼓励。



北京高校优质本科课程（重点）及北京高等学校优秀专业课（公共课）
主讲教师

荣誉证书

北京林业大学 马尔妮老师：

在2022年北京高校“优质本科课程”项目评选中，您讲授的课程“木材学A”被评为“北京高等学校优质本科课程（重点）”，您被评为“北京高等学校优秀专业课（公共课）主讲教师”。

特发此证。



梁希林业科技奖自然科学二等奖



梁希林业科学技术奖 自然科学奖 证书

为表彰梁希林业科学技术奖获得者，特颁发此证书。

项目名称：木塑复合材料界面结合机理及性能优化机制

奖励等级：二等

获奖者：曹金珍



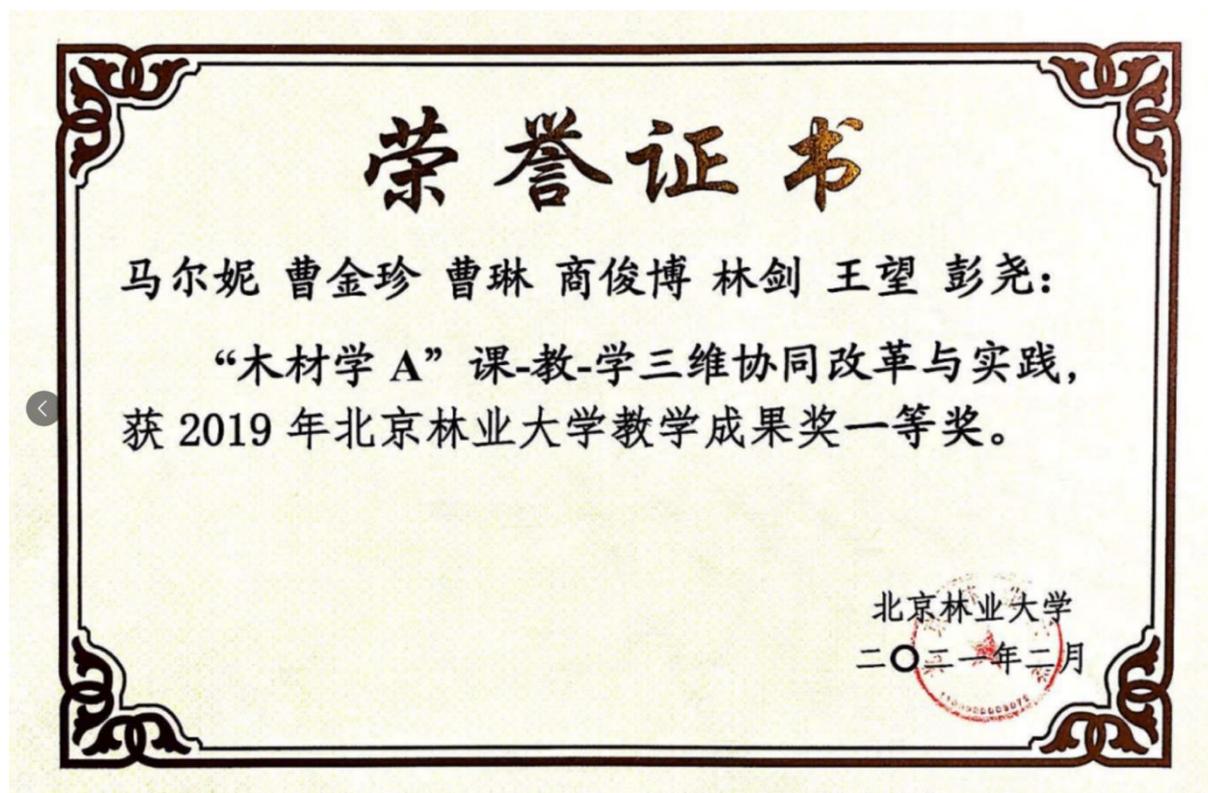
2023年4月23日

证书号：2022-KJZ-2-01-R01

北京市教育系统育人榜样



北京林业大学教学成果一等奖



第一届北京林业大学教师教学创新大赛一等奖

荣誉证书

材料科学与技术学院 马尔妮团队，荣获第一届北京林业大学
教师教学创新大赛 副高组

一等奖

特颁此证。

参赛课程：木材学 A

团队成员：曹金珍、商俊博、林剑



推广应用证明

教学成果应用推广证明

东北林业大学 材料科学与工程学院

北京林业大学“基于‘知木·树人·铸魂’理念的‘高等木材学’教学改革与实践”的教学成果，理念先进、框架清晰、实践性强，对于聚焦特色、精准发力，建设农林院校高质量研究生课程具有较高的示范性和可推广性。

该成果提出的“知木·树人·铸魂”的育人理念、“WOOD”教学思想和“四化”行动框架，为我院优质研究生专业课程改革与建设提供了先进经验与有效路径，具有较强的辐射引领作用。

特此证明。

东北林业大学 材料科学与工程学院



2025年9月30日

教学成果应用推广证明

南京林业大学 材料科学与工程学院

北京林业大学“基于‘知木·树人·铸魂’理念的‘高等木材学’教学改革与实践”的研究与建设成果，提出了“知木·树人·铸魂”的育人理念，建立了“WOOD”的教学思想，构建了教学内容的高阶化、教学目标的价值化、教学组织的定制化和学习评价的立体化的“四化”行动框架，形成了可复制、可推广的农林院校高质量研究生专业课程的建设模式。

该成果在研究生课程育人方面所提出的先进理念和有效举措，对于实现以学生发展为中心、以学生学习为中心和以学习评价为中心，起到了积极的促进与示范作用，对于我院教师教学能力的提升和学科特色研究生课程的建设具有较高的借鉴意义与辐射推广价值。

特此证明。

南京林业大学 材料科学与工程学院

2025年9月30日



教学成果应用推广证明

浙江农林大学 化学与材料工程学院

北京林业大学“基于‘知木·树人·铸魂’理念的‘高等木材学’教学改革与实践”的研究与建设成果，提出了“知木·树人·铸魂”的育人理念，建立了“WOOD”的教学思想，构建了教学内容的高阶化、教学目标的价值化、教学组织的定制化和学习评价的立体化的“四化”行动框架，形成了可复制、可推广的农林院校高质量研究生专业课程的建设模式。

该成果在研究生课程育人方面所提出的先进理念和有效举措，对于深化教学内容，实现绿色发展与生态文明价值引领，起到了积极的促进与示范作用，对于我院教师教学能力的提升和学科特色研究生课程的建设具有较高的借鉴意义与辐射推广价值。

特此证明。

浙江农林大学 化学与材料工程学院

2025年9月30日



教学成果应用推广证明

北京林业大学“基于‘知木·树人·铸魂’理念的‘高等木材学’教学改革与实践”的教学成果，提出了“知木·树人·铸魂”的育人理念，建立了“WOOD”的教学思想，构建了教学内容的高阶化、教学目标的价值化、教学组织的定制化和学习评价的立体化的“四化”行动框架，形成了可复制、可推广的农林院校高质量研究生专业课程的建设模式。

该成果将“知木”的专业知识传授、“树人”的能力培养与“铸魂”的价值塑造有机融为一体，深刻体现了“课程思政”的高级形态。该成果所凝练的育人模式，对推动我院研究生课程的内涵式发展具有较高的辐射引领作用。

特此证明。

西南林业大学 材料与化学工程学院

2025年9月30日学院



教学成果应用推广证明

广西大学 资源环境与材料学院

北京林业大学“基于‘知木·树人·铸魂’理念的‘高等木材学’教学改革与实践”的教学成果，立意高远，体系完整。该成果所倡导的“知木·树人·铸魂”育人理念，对于我院优质研究生专业课程的思想政治教育与专业教育的深度融合具有重要的启发意义。

该成果构建的“WOOD”教学思想与“四化”行动框架，为解决工科研究生培养中如何强化价值引领、实现个性化培养提供了可操作的路径参考。该成果的成功实践，为农林类和工科类院校研究生课程的改革提供了优秀范本。

特此证明。

广西大学 资源环境与材料学院

资源环境与材料学院
2025年9月30日