

中国裸子植物 木材志

姜笑梅 程业明 殷亚方 等 编著



科学出版社
www.sciencep.com

中国裸子植物木材志

Atlas of Gymnosperms Woods of China

姜笑梅 程业明 殷亚方 等 编著

科学出版社

北 京

作者简介

姜笑梅 女, 1946 年出生, 理学硕士, 研究员, 博士生导师, 享受国务院政府特殊津贴。现就职于中国林业科学研究院木材工业研究所。从事木材科学应用基础研究, 专攻木材解剖和超微结构。主持过多项国家级课题, 如国家科技攻关项目、国家重点基础研究发展计划(973)项目、国际热带木材组织(ITTO)项目、引进国际先进农业科学技术(948)项目和国家科技基础条件平台课题等。在国内外核心刊物发表研究论文 86 篇, 其中被 SCI 收录 7 篇; 主编(著)专著《木材结构与其品质特性的相关性》、《中国桉树和相思人工林木材性质及加工利用》、《拉丁美洲热带木材》和 *Guide on Utilization of Eucalyptus and Acacia Plantations in China for Solid Wood Products* 4 部, 参编 9 部; 获专利 1 项。先后获奖 5 项, 分别为国家科技进步二等奖 2 项、国家自然科学基金四等奖 1 项、国家林业局科技进步一等奖 1 项、国家林业局科技进步二等奖 1 项。

程业明 男, 1974 年出生, 博士, 副研究员。现就职于中国地质博物馆地层与古生物研究室, 主要从事古植物研究。1998 年 9 月~2001 年 7 月, 就读于东北师范大学生命科学学院, 攻读植物学硕士学位, 2001 年 7 月获得理学硕士学位; 2001 年 9 月~2004 年 7 月, 就读于中国科学院植物研究所, 攻读植物学博士学位, 2004 年 7 月, 获得理学博士学位。2004 年 7 月~2006 年 11 月进入中国林业科学研究院林业工程博士后流动站, 从事木材解剖学研究。在 *International Journal of Plant Sciences*、*Review of Palaeobotany and Palynology* 和 *IAWA Journal* 等杂志发表研究论文十余篇。

殷亚方 男, 1976 年出生, 博士, 副研究员。现就职于中国林业科学研究院木材工业研究所, 主要从事木材解剖与利用研究。1997 年 9 月~2002 年 7 月, 就读于中国林业科学研究院, 获工学博士学位; 2003 年 2~8 月, 在加拿大国家林产品研究院(Forintek)开展博士后研究。2004 年 2~5 月, 在日本国立森林综合研究所(FFPRI)开展合作研究。现为国际木材解剖学家协会(IAWA)和中国电子显微镜学会会员。主持国家自然科学基金项目 1 项; 以第一作者或通讯作者发表论文 19 篇, 其中 7 篇被 SCI 或 EI 收录; 参编中英文专著 7 部; 认定成果 1 项。2002 年荣获中国科学技术发展基金会“茅以升科技教育奖”, 2004 年荣获“全国百篇优秀博士论文提名奖”。

编著者名单

(按作者姓氏笔画排序)

- | | |
|-----|------------------|
| 冯 弦 | 云南省林业科学院 |
| 刘 波 | 中国林业科学研究院木材工业研究所 |
| 刘晓丽 | 北京市自然博物馆 |
| 张立非 | 中国林业科学研究院木材工业研究所 |
| 张训亚 | 中国林业科学研究院木材工业研究所 |
| 姜笑梅 | 中国林业科学研究院木材工业研究所 |
| 殷亚方 | 中国林业科学研究院木材工业研究所 |
| 程业明 | 中国地质博物馆 |

前 言

Foreword

众所周知,裸子植物多为大乔木,树干挺直,出材率高;经常组成大面积的纯林,木材蓄积量大,是当今世界上最重要的工业用材树木。中国是世界上裸子植物资源最丰富的国家,共计 10 科 34 属约 250 种,另引种栽培 2 科 8 属约 50 种。尽管裸子植物木材的结构特征和木材性质备受关注,但是中国目前还没有一本系统介绍裸子植物木材的专著。本专著是以 2004 年国际木材解剖学家协会 (International Association of Wood Anatomist, IAWA) 出版的《IAWA 针叶树材识别显微特征一览表》(IAWA List of Microscopic Features for Softwood Identification) 为依据,系统地介绍了中国裸子植物木材宏观和微观结构特征、物理力学及其加工利用性质和用途,可以为木材科学研究与教学、木材鉴定以及木材生产和经营贸易等方面提供重要的科学依据和信息,具有较高的学术价值和实际意义。

本专著分为三章,为中英文版。第一章为裸子植物概述,第二章为裸子植物木材结构及其鉴定特征,第三章为中国裸子植物木材结构特征、物理力学与加工性质及用途。本书介绍了裸子植物定义、形态及结构特点,及其分类地位、分类系统,地质历史时期裸子植物概况,世界及中国范围内科、属、种的分布;裸子植物木材结构及其鉴定特征;同时记载了中国主要裸子植物商品材树种 142 种(隶 9 科、38 属)。值得一提的是,本书在国内首次以 IAWA 于 2004 年出版的《IAWA 针叶树材识别显微特征一览表》为记载术语和代码。对每个树种均记载了木材名称(中文名、拉丁名和英文名),树木及分布,木材构造(宏观和微观特征),木材物理力学性质(气干或基本密度、干缩系数、顺纹抗压强度、抗弯强度、弹性模量、冲击韧性和硬度等),加工性质[干燥特性、干燥缺陷、天然耐腐性及防腐剂可处理性、抗白蚁(或虫)和抗海生动物侵害性质及其机械加工性质,如刨切、砂光、钻孔、成型、榫眼加工、车削、胶合和涂饰等]和主要用途。每个树种均附有木材的显微结构照片,部分树种附有地理分布图,此外,本书还将 IAWA 出版的《IAWA 针叶树材识别显微特征一览表》的中文翻译(含图版)列为附录。

本书中裸子植物科的排列依照郑万钧的裸子植物分类系统,科内的各属以及属内的各种均按照其拉丁名首个字母的顺序排序。每种木材的地理分布图参照《中国高等植物(第三卷)》(青岛出版社,2000 年)。木材物理力学性质数值来源于《中国主要树种的木材物理力学性质》(中国林业出版社,1982 年)。

每个树种的木材均附一幅图版。每幅图版由 6 张显微照片组成:①、②为横切面;③、④为径切面;⑤、⑥为弦切面;图上均注有标尺。

本书作者的主要分工如下:姜笑梅研究员负责全书策划、统稿及成书;负责杉科各属、松科冷杉属、铁杉属和油杉属木材内容的撰写。程业明副研究员参与全书策划,负责第一章和第二章的中文撰写;负责本书所有图版的拍摄;负责银杏科、南洋杉科、罗汉松科、三尖杉科木材内容的撰写。殷亚方副研究员参与全书策划,负责全书主要内容审核;负责第一章和第二章的英文撰写和中英文校稿;负责松科松属木材内容的撰写。此外,刘波博士参与第二章的英文撰写,以及金松科和柏科各属木材内容的撰写;刘晓丽博士参与松科落叶松属和云杉属木材的撰写;张立非研究员参与松科雪松属、金钱松属、黄杉属、银杉属木材的撰写;冯弦副研究员参与红豆杉科各属以及 IAWA 出版的《IAWA 针叶树材识别显微特征一览表》图版的扫描和英文翻译;张训亚博士参与第一章的英文撰写及第一、二章英文校对。

在书稿交付之际,本书作者对参与树种地理分布图标注的杨建华工程师、参与部分光学显微切片制备和测量的许明坤工程师和参与图版标注和编号的郭志云先生表示衷心的感谢。

本专著是国家科技基础条件建设平台项目“林业科学数据共享试点”下的“木材科学数据整合和共享(2004DKA20210-9)”课题的部分研究成果。在专著出版之际,作者对国家科技基础条件建设平台项目的资助表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,错漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

著 者

2009 年 4 月

• i •

目 录

前言

Foreword

第一章 裸子植物概述	1
Chapter 1 Gymnospermae introduction	1
1.1 裸子植物定义	1
1.1 Definition of gymnosperms	1
1.2 裸子植物形态及结构特点	1
1.2 Morphology and structure features of gymnosperms	1
1.3 裸子植物分类位置	2
1.3 Systematic position of gymnosperms	2
1.4 裸子植物分类系统	2
1.4 Gymnosperms classification system	2
1.5 地质时期裸子植物概况	3
1.5 Gymnosperms during the geological times	3
1.6 世界范围裸子植物分布概况	4
1.6 Gymnosperms distribution in the world	4
1.7 中国的裸子植物分布概况	4
1.7 Gymnosperms distribution in China	5
第二章 裸子植物木材结构及其鉴定特征	7
Chapter 2 Wood structures of gymnosperms and their identification features	7
2.1 裸子植物木材结构	7
2.1 Wood structures of gymnosperms	7
2.1.1 木材结构	7
2.1.1 Wood structures	7
2.1.2 裸子植物木材不同于被子植物木材的特点	8
2.1.2 Wood features of gymnosperms different from angiosperms	8
2.2 裸子植物木材主要显微特征及在识别中的应用	9
2.2 Microstructure features of gymnosperms and their application in wood identification	10
2.2.1 生长轮	10
2.2.1 Growth rings	12
2.2.2 管胞	14
2.2.2 Tracheids	14
2.2.3 轴向薄壁组织	25
2.2.3 Axial parenchyma	25
2.2.4 射线薄壁组织	28
2.2.4 Ray parenchyma	28
2.2.5 射线管胞	32
2.2.5 Ray tracheids	32
2.2.6 交叉场纹孔	35
2.2.6 Cross-field pitting	36
2.2.7 胞间道(树脂道)	39
2.2.7 Intercellular (Resin) canals	39

2. 2. 8 矿质内含物	42
2. 2. 8 Mineral inclusions	43
第三章 中国裸子植物木材结构特征、物理力学与加工性质及用途	44
Chapter 3 The structures features, physical & mechanical and working properties and utilization of gymnosperms woods in China	44
银杏科 GINKGOACEAE Engl.	44
银杏属 <i>Ginkgo</i> L.	44
银杏 <i>Ginkgo biloba</i>	44
南洋杉科 ARAUCARIACEAE Henkel et Hochst	48
南洋杉属 <i>Araucaria</i> Juss.	48
阔叶南洋杉 <i>Araucaria bidwillii</i>	48
南洋杉 <i>Araucaria cunninghamii</i>	51
罗汉松科 PODOCARPACEAE Endl.	53
鸡毛松属 <i>Dacrycarpus</i> (End.) de Laubenf.	53
鸡毛松 <i>Dacrycarpus imbricatus</i>	53
陆均松属 <i>Dacrydium</i> Solander	57
陆均松 <i>Dacrydium pierrei</i>	57
竹柏属 <i>Nageia</i> Gaertner	60
长叶竹柏 <i>Nageia fleuryi</i>	60
竹柏 <i>Nageia nagi</i>	63
罗汉松属 <i>Podocarpus</i> L'Her. ex Persoon	66
罗汉松 <i>Podocarpus macrophyllus</i>	66
小叶罗汉松 <i>Podocarpus wangii</i>	69
百日青(竹叶青) <i>Podocarpus nerii folius</i>	72
三尖杉科 CEPHALOTAXACEAE Neger	75
三尖杉属 <i>Cephalotaxus</i> Sieb. et Zucc.	75
三尖杉 <i>Cephalotaxus fortunei</i>	75
海南粗榧 <i>Cephalotaxus mannii</i>	79
篦子三尖杉 <i>Cephalotaxus oliveri</i>	82
红豆杉科 TAXACEAE S. F. Gray	85
穗花杉属 <i>Amentotaxus</i> Pilger	85
穗花杉 <i>Amentotaxus argotaenia</i>	85
白豆杉属 <i>Pseudotaxus</i> Cheng	89
白豆杉 <i>Pseudotaxus chienii</i>	89
红豆杉属 <i>Taxus</i> L.	92
东北红豆杉 <i>Taxus cuspidata</i>	92
喜马拉雅密叶红豆杉(西藏红豆杉) <i>Taxus fuana</i>	95
喜马拉雅红豆杉(云南红豆杉) <i>Taxus wallichiana</i>	97
红豆杉 <i>Taxus wallichiana</i> var. <i>chinensis</i>	100
南方红豆杉 <i>Taxus wallichiana</i> var. <i>mairei</i>	103
榧树属 <i>Torreya</i> Arn.	106
榧树 <i>Torreya grandis</i>	106
松科 PINACEAE Lindl.	109
冷杉亚科 ABIETOIDEAE Pilger	109
冷杉属 <i>Abies</i> Mill.	109

百山祖冷杉 <i>Abies beshanzuensis</i>	109
苍山冷杉 <i>Abies delavayi</i>	112
黄果冷杉 <i>Abies ernestii</i>	114
冷杉 <i>Abies fabri</i>	116
巴山冷杉 <i>Abies fargesii</i>	119
岷江冷杉 <i>Abies fargesii</i> var. <i>faxoniana</i>	121
中甸冷杉 <i>Abies ferreana</i>	123
日本冷杉 <i>Abies firma</i>	125
川滇冷杉 <i>Abies forrestii</i>	127
长苞冷杉 <i>Abies georgei</i>	129
急尖长苞冷杉 <i>Abies georgei</i> var. <i>smithii</i>	131
杉松冷杉 <i>Abies holophylla</i>	133
台湾冷杉 <i>Abies kawakamii</i>	136
臭冷杉 <i>Abies nephrolepis</i>	138
西伯利亚冷杉(新疆冷杉) <i>Abies sibirica</i>	141
鳞皮冷杉 <i>Abies squamata</i>	143
元宝山冷杉 <i>Abies yuanbaoshanensis</i>	145
银杉属 <i>Cathaya</i> Chun et Kuang	147
银杉 <i>Cathaya argyrophylla</i>	147
油杉属 <i>Keteleeria</i> Carr.	150
铁坚油杉 <i>Keteleeria davidiana</i>	150
黄枝油杉 <i>Keteleeria davidiana</i> var. <i>calcareo</i>	153
云南油杉 <i>Keteleeria evelyniana</i>	155
油杉 <i>Keteleeria fortunei</i>	158
江南油杉 <i>Keteleeria fortunei</i> var. <i>cyclolepis</i>	161
海南油杉 <i>Keteleeria hainanensis</i>	163
柔毛油杉 <i>Keteleeria pubescens</i>	166
云杉属 <i>Picea</i> A. Dietr.	168
云杉 <i>Picea asperata</i>	168
白皮云杉 <i>Picea asperata</i> var. <i>aurantiaca</i>	172
麦吊云杉 <i>Picea brachytyla</i>	174
油麦吊云杉 <i>Picea brachytyla</i> var. <i>complanata</i>	176
长白鱼鳞云杉 <i>Picea jezoensis</i> var. <i>komarovii</i>	178
鱼鳞云杉 <i>Picea jezoensis</i> var. <i>microsperma</i>	180
红皮云杉 <i>Picea koraiensis</i>	183
丽江云杉 <i>Picea likiangensis</i>	186
林芝云杉 <i>Picea likiangensis</i> var. <i>linzhiensis</i>	189
川西云杉 <i>Picea likiangensis</i> var. <i>rubescens</i>	191
白杆 <i>Picea meyeri</i>	193
大果青杆 <i>Picea neoveitchii</i>	195
西伯利亚云杉 <i>Picea obovata</i>	197
紫果云杉 <i>Picea purpurea</i>	199
雪岭云杉 <i>Picea schrenkiana</i>	202
长叶云杉 <i>Picea smithiana</i>	204
青杆 <i>Picea wilsonii</i>	207

黄杉属 <i>Pseudotsuga</i> Carr.	210
北美黄杉 (花旗松) <i>Pseudotsuga menziesii</i>	210
黄杉 <i>Pseudotsuga sinensis</i>	214
台湾黄杉 <i>Pseudotsuga sinensis</i> var. <i>wilsoniana</i>	218
铁杉属 <i>Tsuga</i> Carr.	221
铁杉 <i>Tsuga chinensis</i>	221
台湾铁杉 <i>Tsuga chinensis</i> var. <i>formosana</i>	224
丽江铁杉 <i>Tsuga chinensis</i> var. <i>forrestii</i>	226
云南铁杉 <i>Tsuga dumosa</i>	229
长苞铁杉 <i>Tsuga longibracteata</i>	232
落叶松亚科 LARICIODEAE H. Melchior et E. Werderman	235
雪松属 <i>Cedrus</i> Trew	235
雪松 <i>Cedrus deodara</i>	235
落叶松属 <i>Larix</i> Mill.	238
落叶松 <i>Larix gmelini</i>	238
西藏红杉 <i>Larix griffithiana</i>	242
四川红杉 <i>Larix mastersiana</i>	245
黄花落叶松 <i>Larix olgensis</i>	248
红杉 <i>Larix potaninii</i>	251
华北落叶松 <i>Larix principis-rupprechtii</i>	254
西伯利亚落叶松 <i>Larix sibirica</i>	256
怒江红杉 <i>Larix speciosa</i>	259
金钱松属 <i>Pseudolarix</i> Gord.	262
金钱松 <i>Pseudolarix amabilis</i>	262
松亚科 PINOIDEAE Pilger	265
松属 <i>Pinus</i> Linn.	265
华山松 <i>Pinus armandi</i>	265
白皮松 <i>Pinus bungeana</i>	269
海南五针松 <i>Pinus fenzeliana</i>	272
大别山五针松 <i>Pinus fenzeliana</i> var. <i>dabeshanensis</i>	274
红松 <i>Pinus koraiensis</i>	276
华南五针松 <i>Pinus kwangtungensis</i>	279
日本五针松 <i>Pinus parviflora</i>	282
西伯利亚五针松 (新疆五针松) <i>Pinus sibirica</i>	284
加勒比松 <i>Pinus caribaea</i>	286
高山松 <i>Pinus densata</i>	288
赤松 <i>Pinus densiflora</i>	291
湿地松 <i>Pinus elliotii</i>	294
卡西松 (思茅松) <i>Pinus kesiya</i> var. <i>langbianensis</i>	297
南亚松 <i>Pinus latteri</i>	299
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	302
欧洲黑松 <i>Pinus nigra</i>	306
长叶松 <i>Pinus palustris</i>	308
刚松 <i>Pinus rigida</i>	310
西藏长叶松 <i>Pinus roxburghii</i>	312

欧洲赤松	<i>Pinus sylvestris</i>	315
樟子松	<i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	318
长白松	<i>Pinus sylvestris</i> var. <i>sylvestriiformis</i>	321
油松	<i>Pinus tabulaeformis</i>	324
火炬松	<i>Pinus taeda</i>	327
黄山松 (台湾松)	<i>Pinus taiwanensis</i>	329
黑松	<i>Pinus thunbergii</i>	332
云南松	<i>Pinus yunnanensis</i>	334
金松科	SCIADOPITYSACEAE Luerssen	337
金松属	<i>Sciadopitys</i> Sieb. et Zucc.	337
金松	<i>Sciadopitys verticillata</i>	337
杉科	TAXODIACEAE Warming	340
柳杉属	<i>Cryptomeria</i> D. Don	340
日本柳杉	<i>Cryptomeria japonica</i>	340
柳杉	<i>Cryptomeria japonica</i> var. <i>sinensis</i>	343
杉木属	<i>Cunninghamia</i> R. Br.	346
杉木	<i>Cunninghamia lanceolata</i>	346
水松属	<i>Glyptostrobus</i> Endl.	350
水松	<i>Glyptostrobus pensilis</i>	350
水杉属	<i>Metasequoia</i> Miki.	353
水杉	<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	353
北美红杉属	<i>Sequoia</i> Endlicher	357
北美红杉	<i>Sequoia sempervirens</i>	357
台湾杉属	<i>Taiwania</i> Hayata	360
台湾杉	<i>Taiwania cryptomerioides</i>	360
落羽杉属	<i>Taxodium</i> Rich.	363
落羽杉	<i>Taxodium distichum</i>	363
池杉	<i>Taxodium distichum</i> var. <i>imbricatum</i>	366
柏科	CUPRESSACEAE Bartl.	369
柏木亚科	CUPRESSOIDEAE Pilger	369
扁柏属	<i>Chamaecyparis</i> Spach	369
红桧	<i>Chamaecyparis formosensis</i>	369
日本扁柏	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	373
台湾扁柏	<i>Chamaecyparis obtusa</i> var. <i>formosana</i>	376
日本花柏	<i>Chamaecyparis pisifera</i>	379
柏木属	<i>Cupressus</i> Linn.	382
千香柏	<i>Cupressus duclouxiana</i>	382
柏木	<i>Cupressus funebris</i>	385
喜马拉雅柏木	<i>Cupressus torulosa</i>	388
福建柏属	<i>Fokienia</i> A. Henry et H. H. Thomas	390
福建柏	<i>Fokienia hodginsii</i>	390
圆柏亚科	JUNIPEROIDEAE Pilger	393
刺柏属	<i>Juniperus</i> Linn.	393
欧洲刺柏	<i>Juniperus communis</i>	393
刺柏	<i>Juniperus formosana</i>	396

杜松	<i>Juniperus rigida</i>	399
圆柏属	<i>Sabina</i> Mill.	402
圆柏	<i>Sabina chinensis</i>	402
祁连圆柏	<i>Sabina przewalskii</i>	405
垂枝柏	<i>Sabina recurva</i>	408
方枝柏	<i>Sabina saltuaria</i>	411
高山柏	<i>Sabina squamata</i>	414
大果圆柏	<i>Sabina tibetica</i>	417
侧柏亚科	JUNIPEROIDEAE Pilger	420
翠柏属	<i>Calocedrus</i> Kurz	420
翠柏	<i>Calocedrus macrolepis</i>	420
台湾翠柏	<i>Calocedrus macrolepis</i> var. <i>formosana</i>	424
侧柏属	<i>Platycladus</i> Spach	426
侧柏	<i>Platycladus orientalis</i>	426
崖柏属	<i>Thuja</i> Linn.	429
北美香柏	<i>Thuja occidentalis</i>	429
北美乔柏	<i>Thuja plicata</i>	432
日本香柏	<i>Thuja standishii</i>	435
罗汉柏属	<i>Thujopsis</i> Sieb. et Zucc.	437
罗汉柏	<i>Thujopsis dolabrata</i>	437
参考文献	References	440
附录	IAWA 针叶树材识别显微特征一览表	444
中文名索引	Chinese name index of genus and species	487
拉丁名索引	Latin name index of genus and species	489

第一章 裸子植物概述

Chapter 1 Gymnospermae introduction

1.1 裸子植物定义

裸子植物 (Gymnospermae) 是种子植物中较低等的一类, 此类植物的胚珠外面没有子房壁包被, 种子外无果皮包被, 种子是裸露的, 故称裸子植物。如银杏、水杉、水松、侧柏、南洋杉等。

裸子植物全为木本植物, 13 科, 约 75 属, 850 种, 广泛分布于五大洲, 尤以温带与寒温带最多, 是构成该地带森林的主要树种; 中国有 10 科, 34 属, 约 250 种 (Farjon, 1998; 傅立国和洪涛, 2000)。

1.1 Definition of gymnosperms

The gymnosperms (Gymnospermae) are a group of spermatophyte seed-bearing plants with ovules on the edge or blade of an open sporophyll, and are distinguished from the angiosperms by having naked ovules and seeds. For example, *Ginkgo*, *Metasequoia*, *Glyptostrobus*, *Platycladus* and *Araucaria* are gymnosperms.

The gymnosperms are arborescent, and have 13 families with about 75 genera and 850 species which are widely distributed in five continents, especially in the Temperate Zone and the Cold Temperate Zone. Totally, 10 families with 34 genera and about 250 species of gymnosperms are found in China (Farjon, 1998; Fu and Hong, 2000).

1.2 裸子植物形态及结构特点

裸子植物为多年生木本植物, 大多为单轴分枝的高大乔木, 少为灌木, 稀为藤本。次生木质部几乎全由管胞组成, 稀具导管; 韧皮部只有筛胞而无伴胞和筛管。叶多为线形、针形或鳞形, 稀为羽状全裂、扇形、阔叶形、带状或膜质鞘状。花单性, 雌雄异株或同株; 小孢子叶球具多数小孢子叶, 小孢子叶具多数至 2 个小孢子囊; 多为风媒传粉, 花粉萌发后花粉管内有二个游动或不游动的精子; 大孢子叶不形成封闭的子房, 着生一至多枚裸露的胚珠, 多数丛生树干顶端或生于轴上形成大孢子叶球; 胚珠直立或倒生, 由胚囊、珠心和珠被组成, 顶端有珠孔。种子裸露于种鳞之上, 或部分被变态大孢子叶发育的假种皮所包, 其胚由雌配子体的卵细胞受精而成, 胚乳由雌配子体的其他部分发育而成, 种皮由胚珠发育而成; 胚具两枚或多枚子叶 (傅立国和洪涛, 2000)。

1.2 Morphology and structure features of gymnosperms

The gymnosperms are perennial, evergreen, arborescent, mostly monopodial branching arbor, few shrub, rarely vine. The secondary xylem of most plants only consists of tracheids, few plants with vessels. Phloem only consists of sieve cells without companion and sieve tube. Foliage line-like, needle-like, scale-like; few pinnatisect, fan-shaped, broad, band-shaped, or membranous sheath. Flowers unisexual, monoecious or dioecious; male inflorescences composed of several microsporophylls of various shapes bearing two or more microsporangia; mostly anemophilous, germinated pollen tube with two movable or unmovable germ cells; megasporophylls bearing one or more naked ovule do not form close ovary, and mostly grow thickly at the top of trunk or form megastrobile at the axes; ovule erect or anatropous, including megaspore, nucellus and integuments, there is micropyle in the top of ovule. Seeds grow at naked fertile scales, or are covered by aril deriving metamorphotic megasporophylls, and embryo arises from fertilized egg of female gametophyte; embryo endosperm derived from the other parts of megagameto-

phyte; seed capsule arised from ovule, embryo with two or more cotyledons(Fu and Hong, 2000).

1.3 裸子植物分类位置

裸子植物隶属于种子植物门，以种子进行繁殖，在分类位置上处于以孢子繁殖的蕨类植物和胚珠具有子房壁包被的被子植物（种子具有果皮包被）之间。

1.3 Systematic position of gymnosperms

The gymnosperms(Gymnospermae) are a part of spermatophyte seed-bearing plants, and situated in between sporiparous pteridophyta and angiosperms having integuments and pericarps.

植物界	Plant kingdom
藻类植物	Phycophyta
苔藓植物	Bryophyta
蕨类植物	Pteridophyta
裸子植物	Gymnosperm
被子植物	Angiosperm

1.4 裸子植物分类系统

Sahni(1920)、Pilger(1926)、Chmberlain(1934)、Florin(1954)、Sporne(1971)、Meyen(1984)等学者根据形态学或古植物学证据提出了若干裸子植物分类系统。在中国，郑万均等（1975，1978）与傅德志等（Fu et al., 2004）学者也建立了自己的分类系统。

郑万均等（1978）将现存裸子植物分成4纲8目，其中苏铁纲目、银杏纲目与盖子植物纲3个目与其他裸子植物系统并无大的不同。各系统意见不同主要是松杉纲内是否建目、建几个目，红豆杉科是否另立纲以及松杉纲的演化趋势等。

郑万均的裸子植物系统与 Pilger 系统（in Engler and Prantl, 1926）区别点主要在于：①认为明显具球果、种子裸露的南洋杉科、松科、杉科和柏科（松杉目）是一个较自然的类群，其演化趋势为雌球花珠鳞与苞鳞由多至少；彼此分离至结合。②不具典型球果、种子不裸露或半裸露而被珠被发育的假种皮包围的罗汉松科（目）、三尖杉科（目）和红豆杉科（目），其演化趋势为球花长穗状至缩短；苞鳞多至少。目前，郑万均裸子植物系统在中国广为采用。其分类系统排列如下。

1.4 Gymnosperms classification system

According to morphological or paleobotanical evidences, the several gymnosperms classification systems have been established by Sahni(1920), Pilger(1926), Chmberlain(1934), Florin(1954), Sporne(1971), Meyen(1984), etc. In China, Zheng et al. (1975, 1978) and Fu et al. (2004) also founded their own classification systems.

Zheng et al. (1978) divided living gymnosperms into 4 classes and 8 orders, in which Cycadopsida (Cycadales), Ginkgopsida(Ginkgoales) and Chlamydospermopsida are generally close to other classification systems. The differences of individual classification systems are presented as following: whether order should be presented in Coniferopsida; how many orders could be proposed in Coniferopsida; whether Taxaceae places into its order; and evolutionary trends of Coniferopsida.

Following characteristics of Zheng's system are different from Pilgers' system(in Engler and Prantl, 1926):①Araucariaceae, Pinaceae, Taxodiaceae and Cupressaceae with strobile and naked seeds form a natural group. Their evolutionary trends are as follows: the numbers of ovuliferous scale and bract scale of ovulate strobilus evolved from more to less, the shape of them varied from separation to integration. ② Podocarpaceae, Cephalotaxales and Taxales without typical cone, seeds not naked or semi-naked and enclosed by aril developed from integument. Their evolutionary trends: strobilus long spiciform to

short, bract scale more to less. Currently, Zheng's system is widely accepted in China. The treatment of this system is as follows.

苏铁纲	Cycadopsida
苏铁目	Cycadales
苏铁科	Cycadaceae
银杏纲	Ginkgopsida
银杏目	Ginkgoales
银杏科	Ginkgoaceae
松杉纲	Coniferopsida
松杉目	Pinales
南洋杉科	Araucariaceae
松科	Pinaceae
杉科	Taxodiaceae
柏科	Cupressaceae
罗汉松目	Podocarpaceae
罗汉松科	Podocarpaceae
三尖杉目	Cephalotaxales
三尖杉科	Cephalotaxaceae
红豆杉目	Taxales
红豆杉科	Taxaceae
盖亚植物纲	Chlamydospermopsida
麻黄目	Ephedrales
麻黄科	Ephedraceae
买麻藤目	Gnetales
买麻藤科	Gnetaceae

1.5 地质时期裸子植物概况

裸子植物是原始的种子植物，其发生、发展历史悠久。在其漫长的发生、发展过程中，地球环境和气候经过多次的重大变化，裸子植物也随之多次演替更新，部分类群相继绝灭，新的类群陆续演化出来，并沿着不同的进化路线不断地更新、发展、繁衍至今。

裸子植物的历史可追溯到地质历史时期的古生代中、晚泥盆世，约距今 3.5 亿年前。到古生代末期，裸子植物才开始成为陆地植物中的主要代表。在中生代至新生代它们成为遍布各大陆的主要植物。现存裸子植物中有不少种类出现于第三纪（新近纪前期），后又经过冰川时期而保留下来，并繁衍至今。

裸子植物在系统演化过程中，经历了一系列的形态和结构变化。包括植物体的次生长由微弱到强；茎干由不分枝到多分枝；孢子叶由散生到聚生成各式孢子叶球；大孢子叶逐渐特化；雄配子体由吸器发展为花粉管；雄配子由游动的、多纤毛精子，发展到无纤毛的精核；颈卵器由退化、简化发展到没有；等等。尤其是生殖器官的演化，使裸子植物有可能更完善地适应陆生生活条件，而达到较高的系统发育水平。

1.5 Gymnosperms during the geological times

Gymnosperms are a group of primitive spermatophyte with a long developmental history. In the large-scale geological period, big fluctuations of earth environment and climate occurred several times. Some of gymnosperms were extinct with each fluctuation, and others were arisen, developed and renewed continuously along different evolution way to the current day.

The first appearance of the gymnosperms was in the middle to the late Devonian of Paleozoic about 350 Ma BP. At the end of Paleozoic, the gymnosperms became the predominant land plants. In Mesozoic and Cenozoic, gymnosperms spread to each continent. Among the living gymnosperms, many taxa occurred in Paleogene and Neogene, and then passed through the glacial period to the present day.

A series of morphological and structural changes of gymnosperm occurred during phylogenetic evolution, including secondary growth evolved from weak to strong, stem from non-branch to branch, sporophyll from scatter to gather forming in different kinds of strobile, gradual specialization of megasporophylls, male gametophyte from haustellum to pollen tube, male gamete from multiciliate zoosperm to aciliferous sperm nucleus, archegonium from retrogression and predigestion to absence, etc. The evolution of reproductive organs promoted gymnosperms to develop in a high phylogenetic evolution level and adapt well to land environment.

1.6 世界范围裸子植物分布概况

裸子植物各科的分布（苏铁科、买麻藤科、麻黄科和百岁兰科除外）范围如下：柏科分布于南北半球；苏铁科、罗汉松科和南洋杉科主产南半球，少数种分布于北半球热带及亚热带；银杏原产中国，现广泛栽植于北半球亚热带及温带地区；松科除松属（*Pinus*）的少数种分布于南半球外，其他属均产北半球；杉科除单型属密叶杉属（*Athrotaxis*）产澳大利亚外，其他属种均分布于北半球的亚热带地区；三尖杉科分布于东南亚南部及中南半岛北部；红豆杉科除单型属澳洲红豆杉（*Austrotaxus*）产新喀里多尼亚外，其他属均分布于北半球温带及亚热带高山（傅立国和洪涛，2000）。

1.6 Gymnosperms distribution in the world

The general distribution regions of gymnosperms, except for Cycadaceae, Gnetaceae and Ephedraceae and Welwitschiaceae, are as follow: Cupressaceae is distributed both in the Northern and Southern Hemisphere. Cycadaceae, Podocarpaceae and Araucariaceae are mainly distributed in the Southern Hemisphere, except for a few species of them in the tropics and subtropics of the Northern Hemisphere. Ginkgoaceae, a native conifer family in China, is widely planted in the tropical and temperate zones of the Northern Hemisphere. Most Pinaceae are distributed in the Northern Hemisphere, except for a few species of *Pinus* in the Southern Hemisphere. While most Taxodiaceae are distributed in the subtropics of the Northern Hemisphere, except that *Athrotaxis*, a monotypic genus, is distributed in Australia. Cephalotaxaceae is distributed in the south of East-Asia and north of Indo-China Peninsula. Moreover, most Cephalotaxaceae are distributed in the temperate zone and subtropical high mountains in the Northern Hemisphere, except that *Austrotaxus*, a monotypic genus, is distributed in New Caledonia (Fu and Hong, 2000).

1.7 中国的裸子植物分布概况

中国疆域辽阔，气候和地貌类型复杂。在中生代至新生代第三纪一直是温暖的气候，第四纪冰期时又没有直接受到北方大陆冰盖的破坏，基本上保持了第三纪（新近纪前期）以来比较稳定的气候，致使中国的裸子植物区系具有种类丰富、起源古老、多古残遗和孑遗成分、特有成分繁多和针叶林类型多样等特征。

据统计，中国的裸子植物有 10 科 34 属约 250 种，分别为世界现存裸子植物科、属、种总数的 76.9%、45.3% 和 29.4%，是世界上裸子植物最丰富的国家（傅立国和洪涛，2000）。

在中国分布的裸子植物中，许多属为特有的单型属或少型属，有些种是北半球其他地区早已灭绝的古残遗种或孑遗种。如特有单种科——银杏科（Ginkgoaceae）；特有单型属有水杉属（*Metasequoia*）、水松属（*Glyptostrobus*）、银杉属（*Cathaya*）、金钱松属（*Pseudolarix*）和白豆杉属（*Pseudotaxus*）；半特有单型属和少型属有台湾杉属（*Taiwania*）、杉木属（*Cunninghamia*）、福建柏属（*Fokienia*）、

侧柏属 (*Platycladus*)、穗花杉属 (*Amentotaxus*) 和油杉属 (*Keteleeria*) 等, 以及残遗种, 如多种苏铁 (*Cycas* spp.)、冷杉 (*Abies* spp.) 等。

中国裸子植物科属种分布数量较大且多样性较高的地区有四川、云南、贵州、广西、湖南、广东、福建、湖北、江西、浙江、台湾和陕西 (左家哺和傅德志, 2001)。

中国的裸子植物种类虽仅为被子植物种类的0.8%, 但针叶林蓄积量却略高于阔叶林蓄积量。裸子植物树木经常组成大面积的纯林, 或由少数种类组成针叶混交林, 或针阔叶混交林。在中国东北、华北及西北地区的针叶林中裸子植物物种较单一, 在西南地区针叶林中则有丰富的裸子植物物种, 而在华南、华中及华东地区除针叶林天然林外, 更常见的是大面积分布的杉木和马尾松人工林。最新的森林资源统计显示, 中国针叶林为优势的林分面积为 7 111.31 万 hm^2 , 占森林总面积的 49.80%; 蓄积量为 656 874.12 万 m^3 , 占森林总蓄积量的 54.30% (Lei, 2005)。针叶林木材资源丰富, 是中国用材的主要来源。

裸子植物多为高大乔木、单轴生长, 树干挺直, 具有较高的出材率; 其木材具有纹理直、结构均匀、纤维长、强度比高和易于加工等特点, 具有广泛用途; 是最重要的工业用材树木, 也是林业经营上的重要用材树种。另外, 针叶林大多分布在山区, 在保护水源、保护水土和改善环境等方面都起到了重要的作用 (周崑和姜笑梅, 1994)。

1.7 Gymnosperms distribution in China

The types of climate and physiognomy in China are very complicated for their vast territory. The climate was always warm from Mesozoic to tertiary of Cenozoic and not destroyed directly by the following icecap of northern continent during glacial period in Quaternary. Therefore, the stable climate has been kept basically since tertiary, for which the gymnosperms distributed in Chinese territory has the characteristics of rich species, old origin, many ancient epibiotic and relic species as well as various specific forms and multiform types of coniferous forest.

China is the richest country in possession of gymnosperms. Statistically, 10 families with 34 genera and about 250 species of gymnosperms are found in China, which are respectively 76.9%, 45.3% and 29.4% of total family, genera and specie of the living gymnosperms in the world (Fu and Hong, 2000).

There are many specific monotypic genera or oligotypic genera among the gymnosperms distribute in China and some species are ancient epibiotic species or relic species that are extinct in other zones of the Northern Hemisphere. For example, Ginkgoaceae is a specific monotypic family while *Metasequoia*, *Glyptostrobus*, *Cathaya*, *Pseudolarix* and *Pseudotaxus* are specific monotypic genera. *Taiwania*, *Cunninghamia*, *Fokienia*, *Platycladus*, *Amentotaxus* and *Keteleeria* are semi-specific monotypic genera or oligotypic genera while *Cycas* spp. and *Abies* spp. are epibiotic species.

The area with large quantity and high diversity of gymnosperms distribution are Sichuan, Yunnan, Guizhou, Guangxi, Hu'nan, Guangdong, Fujian, Hubei, Jiangxi, Zhejiang, Taiwan and Shaanxi (Zuo and Fu, 2001).

Although the species of gymnosperms are only 0.8% of that of angiosperms in China, however the stock volume of coniferous forest is slightly greater than that of the broad-leaved forest. The gymnosperm trees often form pure coniferous forest in large-scale area or mixed coniferous forest, or mixed coniferous-broadleaf forest as well. The gymnosperm species of the coniferous forest grown in north-east, north and northwest part of China are simplified, whereas, species of the coniferous forest in south-west part of China are much abundant. In south, central and east part of China, growth area of *Cunninghamia lanceolata* and *Pinus massoniana* plantation is larger than that of natural coniferous forest. The most recent national forestry survey indicates that currently the distribution area of coniferous forest in dominance of China is 71.113,1 million ha^2 while timber stocks are 6,568.741,2 million m^3 and they are 49.80% and 54.30% of the total forest area and stock volume, respectively (Lei, 2005). The

gymnosperm tree is the main sources for timber use in China.

Most gymnosperms are high monopodial arbor with straight trunk and high timber yield. The gymnosperms wood can be used widely with the characteristics of straight grain, even texture, long fiber, high strength-weight ratio and easy processing; therefore gymnosperms provide the most important timber resources for forestry and wood industry. In addition, gymnosperms play key roles on water source protection, soil preservation and environmental improvement, because most coniferous forest is distributed in mountain area(Zhou and Jiang, 1994).