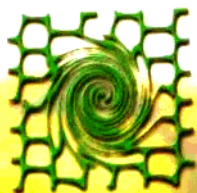


木材材质 预测学

王金满 著 李坚 审



东北林业大学出版社

序

随着人类社会的发展和林业科技的进步,人们已经把营造工业用材林基地视同培育绿色资源和加工木材原料的绿色车间。为了得到持续、稳定和高产、高效的优质木材,在以满足生产加工利用所需的木材材质的前提下,世界各国已经改变了传统的森林经营与木材加工利用分离的状态,形成了森林培育与木材加工利用一体化的林—工生产体系。这一体系的形成必将为促进林业与木材加工业共同发展的良性循环奠定坚实的基础。

过去,人们在培育人工林的过程中,只注重林木的速生与丰产,没有注重所培育木材的材质,致使所培育的人工林木材在应用过程中达不到预期的功能,不能满足不断提高的人类生活质量的需要,造成了大量的自然资源和物质资源的浪费,因此迫切需要解决林木定向培育与木材加工利用相脱节的状况,使工业用材林达到定向培育的目的。王金满博士所著的《木材材质预测学》一书弥补了这一缺憾。作者孜孜以求,希希冀,全面、系统地开展林木的培育措施和木材材性以及木材品质评价方面的研究获得成功,并撰著此书。

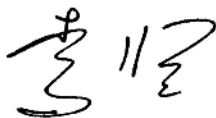
木材材质预测的研究,是当今国际木材科学领域的前沿课题,尤其是木材材质的早期预测更具实际意义。从国内外已有该方面的文献来看,大多是林木培育者对树木生长量的预测,而对木材材质的早期预测研究甚少,在该方面的研究尚缺乏系统性。《木材材质预测学》从分析林木培育技术对木材材质的影响入手,深入、系统地分析了林木培育过程中木材材质的变化规律,建立了进行木材材质早期预测的研究体系,为工业用材林的培育、经营技术

和木材的加工利用提供了科学依据,该书具有重要的科学价值和实际意义。

该书融木材材性变异、材质早期预测、木材品质评价为一体,具有明显的系统性、综合性、科学性、新颖性,在国内外尚属创新;采用现代计算机视觉分析技术,替代17世纪以来传统的木材材质分析的解剖学研究体系,是木材解剖学特征指标研究的技术突破,该方法的推广应用将为高效、准确地深层次地揭示木材构造的超微观内幕,科学地量化和系统化提供新的途径。首次采用有序聚类最优划分模型,准确地判定人工林幼龄材与成熟材的界限,并依据幼龄材的材性指标数据预测成熟材材性变异规律。首次采用现代统计预测学中的时间序列模型,分析预测木材生长轮材性指标的变异规律,从而能准确地进行木材材质的早期预测,提出了木材的品质评定与木材用途相关联的学术观点,因此具有十分重要的理论意义和应用价值。

作者通过对木材材质预测的研究,从更高的层次、更宽的领域洞察了人工林木材质定向培育的变化规律,对促使人工林培育技术与木材加工利用之间的有机结合具有重要的科学价值。此项研究成果和学术专著将牵动着愈来愈多的从事“绿色事业”人们的眼睛……

藉此,我也从中得到一点启发,即立志、勉学、报国这应该是我的学生、他的同仁,在历史发展的长河中永恒坚守的信念。

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters, likely '李静' (Li Jing).

1997年12月

前 言

随着世界性天然林木资源的锐减，可供加工利用的木材越来越少，取而代之的将是大量的人工速生林。目前，培育人工林的木材质量已经受到了世界各国木材科学工作者的普遍重视，在培育定向人工林的经营管理过程中，把速生、丰产、优质放到了同等重要的位置。木材材质预测学是一门新兴学科，它的产生与人工林的定向培育技术的发展和木材加工利用的要求有着十分密切的联系。它涉及森林培育学、木材科学和木材加工利用科学等众多学科，它着重研究营林措施对木材生长轮材质的影响，预测木材生长过程中的材性变化规律，评价木材加工利用的品质，对人工林定向培育技术方案的确和木材加工利用提供相应的技术参数，因而具有十分重要的应用价值。木材材质预测将是今后人工林培育科学与木材科学领域研究的中心问题之一，作者将数年来在该领域学习和研究的成果归纳整理，希望能起到抛砖引玉之作用，使木材材质预测学的理论与实践更加发展和完善。

本书阐述了木材材质预测的研究对象和内容，提出了木材材质预测的研究模式，以木材生长轮材质变异规律为基础，采用有序聚类最优划分模型，界定木材的幼龄材与成熟材。通过幼龄材的材性变异预测成熟材材性，实现了木材材质的早期预测；给出了木材材性指标的测量、分析、建立数学模型和预测的理论与方法，以现有工林木材为例进行木材材质的早期预测，并对其预测结果进行检验；根据木材的品质与用途相关联的观点，对木材的品质进行评价。

本书是在东北林业大学出版基金委员会的资助下出版的。书

中主要内容是作者在主持国家自然科学基金项目《木材构造计算机视觉分析》和参加国家“八五”科技攻关项目《短周期工业林生长过程中的材性变异规律与材质早期预测及成熟期的研究》及进行博士论文研究过程中完成的。在本书编写过程中曾得到东北林业大学林产工业学院木材科学教研室同仁和出版社同志的支持与帮助，刘一星教授和张玉副编审为全书做了认真的校订并提出了许多宝贵的修改意见，特别是博士生导师李坚教授对研究工作和本书的编写给予了全面的指导、修改和审核并为本书作序，在此一并表示衷心的感谢。

本书试图对木材材质预测这一新兴学科的理论体系作以初步分析和探讨，但作者深感学识功底不深，力不从心，加之时间仓促，故书中错漏之处在所难免，恳请有关专家和广大读者批评指正。

著者

1997年12月于哈尔滨

目 录

1 绪 论	(1)
1.1 木材材质预测学的研究对象和内容	(2)
1.1.1 木材材质预测学的研究对象	(3)
1.1.2 木材材质预测学的研究范围	(3)
1.1.3 木材材质预测学的研究内容	(4)
1.1.4 木材材质预测研究现状	(5)
1.2 人工林经营概况	(7)
1.2.1 湿地松经营概况	(8)
1.2.2 火炬松经营概况	(9)
1.2.3 长白落叶松经营概况	(10)
1.3 木材材性变异的研究现状及发展趋势	(11)
1.3.1 木材材性变异规律的研究	(11)
1.3.2 木材的幼龄材与成熟材	(26)
1.3.3 木材材质预测与品质评价	(28)
1.4 木材材质预测的研究模式	(34)
2 木材生长轮材质分析方法	(36)
2.1 试材采集	(36)
2.2 试样的制备与测试方法	(38)
2.2.1 生长轮宽度和晚材率	(39)
2.2.2 微纤丝角	(39)
2.2.3 管胞长度	(40)
2.2.4 生长轮密度	(40)
2.2.5 胞壁率和管胞直径	(41)

2.3	木材解剖特征计算机视觉分析方法	(41)
2.3.1	计算机视觉研究内容	(41)
2.3.2	计算机视觉系统的构成	(43)
2.3.3	图像处理的基本理论	(43)
2.3.4	木材解剖特征计算机视觉分析系统	(48)
2.4	数据处理与分析方法	(52)
3	木材材性变异规律	(53)
3.1	木材解剖特征的变异规律	(53)
3.1.1	管胞形态特征的变异规律	(53)
3.1.2	微纤丝角的变异	(64)
3.1.3	管胞形态特征与管胞微纤丝角的关系	(69)
3.2	人工林木木材物理力学特征的变异规律	(72)
3.2.1	木材生长轮宽度与晚材率的变异	(72)
3.2.2	木材密度的变异	(79)
3.2.3	木材胞壁率的变异	(83)
3.3	木材材性株间变异规律	(85)
3.4	几种人工林木木材材性变异规律	(87)
3.4.1	杉木材性变异规律	(87)
3.4.2	长白落叶松解剖特征、物理性质的径向 变异规律	(88)
3.4.3	湿地松木材解剖特征、物理性质的径向 变异规律	(89)
3.4.4	马尾松木材解剖特征、物理性质的径向 变异规律	(90)
3.4.5	火炬松木材解剖特征、物理性质的径向 变异规律	(91)
4	木材生长轮材性变异规律模型的建立	(94)
4.1	木材生长轮材质变异时间序列模型的 建立	(95)
4.1.1	建模的基本理论	(95)

4.1.2	模型的识别	(95)
4.1.3	模型的检验与参数估计	(96)
4.2	木材生长轮材质变异规律模型	(98)
4.2.1	木材生长轮密度模型	(98)
4.2.2	木材生长轮晚材率模型	(99)
4.2.3	木材生长轮宽度模型	(100)
4.3	木材生长轮材性变异规律的生物学解释	(102)
5	木材材质预测	(104)
5.1	材质预测的基本理论	(104)
5.1.1	预测的分类	(104)
5.1.2	统计预测	(105)
5.1.3	统计预测的基本原则	(105)
5.1.4	预测模型	(106)
5.2	成熟材与幼龄材的界定	(107)
5.2.1	幼龄材与成熟材的界限划分	(107)
5.2.2	界定木材幼龄期与成熟期有序 聚类模型	(108)
5.2.3	人工林木材幼龄材与成熟材的界定	(109)
5.2.4	天然林木材幼龄材与成熟材的界定	(121)
5.3	人工林木材材质的早期预测	(124)
5.3.1	人工林长白落叶松材质的早期预测	(124)
5.3.2	人工林湿地松材质的早期预测	(130)
5.3.3	人工林火炬松材质的早期预测	(134)
5.3.4	人工林马尾松材质的早期预测	(137)
5.3.5	人工林杉木材质的早期预测	(139)
5.4	天然林木材材质的早期预测	(142)
5.4.1	天然林杉木材质的早期预测	(142)
5.4.2	天然林长白落叶松材质的早期预测	(145)
6	木材品质评价	(147)
6.1	人工林长白落叶松木材品质评价	(148)

6.2	人工林火炬松木材品质评价.....	(151)
6.3	人工林马尾松木材品质评价.....	(152)
6.3.1	用材与材性指标的关系	(152)
6.3.2	马尾松木材品质评价	(154)
参考文献		(158)

1 绪 论

木材是人类生存不可缺少的重要资源之一,在木材的解剖特征方面鲜明地记录着树木生命、生长和生活的历史。树木的生长过程与木材的成分和组织构造以及木材的各项物理力学性质之间存在着明显的因果关系,因此在林木的抚育和木材的加工利用过程中,全面系统地了解树木生长时期形成的木材,掌握作为一种生物材料的木材的复杂本质是极其重要的。作为人类赖以生存的森林主要具有两方面的功能:一方面是生态功能;另一方面是生产木材,应用于人类生活中的各个领域。但在木材的应用方面,以往的木材加工与利用是被动的,其主要表现在林木的培育与木材利用相互脱节,林木的培育者不能了解其所生产的木材能否满足木材加工与利用的需要,对木材的材性指标的要求与使用的目的不明确;而木材的使用者只能被动地利用木材。造成这种现象的主要原因是以往的林木培育工作薄弱,木材主要来源于天然林木所致。随着天然林资源的不断减少,可供生产和利用的天然林木资源日益缺乏,取而代之的将是人工林木材的生产。目前,世界各国已经把人工林培育模式的研究放在了林业生产经营头等重要的地位,把人工林培育的数量与质量放在同等重要的位置。根据木材的用途,集约化定向培育人工林,使之生产出的木材能够充分满足木材加工业的需求,以期提高森林培育的效率。这对缓解森林资源短缺、提高森林生产率和木材的有效利用具有十分重要的意义。

为了改变木材资源日益缺乏的现状,世界各国均加大了人工林培育的力度,不断探求合理、高效地利用林木资源和提高林地

生产力的途径,提出了森林培育与木材加工利用一体化的“林—工”生产体系,它将对解决林木培育与木材加工利用相脱节的情况具有重大意义。近年来,随着科学的飞速发展,木材科学工作者从林木培育和木材加工利用的角度,在不断地探索按照木材的用途去培育林木,研究林木培育方法与木材材质之间的关系,并试图预测出林木生长在不同时期的材性状况,以及林木生长过程中材性的变化规律,这就孕育了一门新兴科学——木材材质预测学。

木材材质预测学是研究林木培育措施与木材材质之间关系以及木材品质优化规律的一门科学,是人工林培育科学与木材科学之间相互渗透而形成的一门交叉科学。木材材质预测学研究目的是解决林木培育措施对木材材质变异的影响,探讨可能采取的经营措施对木材材性指标的调控机制,评价人工林木材的品质,为木材的加工与利用提供技术参数。木材材质预测学的产生与发展,对人工林培育经营十分重要。它可以使人工林的培育有的放矢。林木培育者可根据木材材性指标要求,按照定向培育的模式去培育林木,以提高林地的经营效益,这既能发挥木材材性的最大效能,又能提高林地生产力,使森林资源得到合理有效的利用。木材材质预测学的产生使林木培育科学与木材科学得到了有机的结合,找到了两个学科发展的共识,为未来的林业科学综合研究奠定了理论基础。

1.1 木材材质预测学的研究对象和内容

木材材质预测学是一门新兴学科,它的产生与人工林的定向培育技术的发展和木材加工利用的要求有着十分密切的联系。目前,关于木材材质预测学的研究对象和研究内容正处于研究和探索阶段,还没有取得共识。但是,研究对象和研究内容是建立木

材材质预测学的基础,明确 these 问题是发展木材材质预测学的前提。因此,确定木材材质预测学的研究对象和研究内容对促进木材材质预测学的创建和早日成熟具有极其重要作用。

1.1.1 木材材质预测学的研究对象

木材材质预测学的研究对象是天然林和人工林木材的材性变异。

只有以木材性变异规律为基础,才能客观、科学地预测木材材质的发展变化趋势,进而根据木材定向培育的目的去调控木材形成的整个过程。但对于世界林业科学发展的今天,随着天然林资源的不断减少,取而代之的是人工林,只有把木材材质预测学的研究对象确定为人工林才具有更实际的意义。

1.1.2 木材材质预测学的研究范围

木材材质预测学的研究范围是横跨森林培育科学、木材科学和木材加工利用科学三个学科的中间环节。在特定培育人工林定向用途的前提下,研究森林培育措施与木材材质的关系,研究人工林木材品质与木材高效利用的关系,它的范围是介于森林培育学与木材加工利用科学之间的中间环节。木材作为森林经营的最终产品,能否满足木材加工利用的需要是靠所培育出的木材品质决定的。木材的品质是标定木材质量的一个综合指标,它所表达的是木材各种解剖学特征和物理力学特征在木材加工利用方面的综合功能。然而木材品质必然要受到木材应用范围与作用的限制。脱离用途去评价木材的品质优劣是没有意义的,只有确定木材某一方面或几方面的用途,而且选择合适的表征木材在这一方面或几方面的木材材性指标,才能更好地表达木材品质,因此,木材品质在木材材质预测学的研究范围内,既可以表达人工林木材培育的品质,又可以为木材加工利用提供木材的品质评价。

1.1.3 木材材质预测学的研究内容

木材材质预测学的研究内容主要包括以下五个方面。

人工林培育经营措施与木材材质的关系是木材材质预测学的研究内容之一。

森林培育措施如人工林的疏伐、间伐、整枝、林木施肥、灌溉以及几种措施联合培育对木材材质的影响。林业集约经营迫切需要提高单位面积木材的产量与质量,缩短森林生产周期,充分发挥森林的多种效能,改进木材产品的质量。通过改进培育措施,优化造林品种,从而实现森林的培育效率。在林业由粗放经营转向集约经营的过程中,选育优良种源与合理的营林措施十分重要,这是森林高效利用的前提。人工林培育措施与木材材质之间存在着密切的关系,培育的木材质量反映了集约经营的最终成果,木材质量的优劣标明了集约经营的成功与否。因此,研究人工林经营措施与木材材质的关系具有重要意义。并且,只有将林木的速生丰产与木材的优质放在同等重要位置才能达到森林培育优质高效的目的。

人工林木材性变异规律是木材材质预测学的研究内容之二。

木材材性变异主要有两个方面,即株间变异和株内变异。前者是评定木材整体材性指标,后者是评定单株木材的材性指标。研究人工林木材变异规律即研究人工林在特定培育模式下木材材性变异规律和评价木材的品质。在木材的形成过程中,木材材性有其自身的变异规律,它在某种程度上受到种源选择与后期培育措施的影响。林木同其他生物一样,普遍存在着遗传变异现象。变异是一种普遍的生命现象,它不仅表现在外部形态上,也表现在内部构造、各种生理特征和生态特征方面。木材材质预测学研究木材材性变异规律旨在为预测木材材性的未来发展趋势提供依

据。

幼龄材与成熟材划分是木材材质预测学的研究内容之三。

这里主要研究人工林幼龄材与成熟材划分理论,建立界定龄材与成熟材数学模型,比较幼龄材与成熟材材质,评定幼龄材与成熟材材质。

木材材质预测模型的建立是木材材质预测学的研究内容之四。

建立材质预测模型是进行材质预测的基础,木材材质预测学是在木材生长轮材质分析的基础上,采用统计预测的原理,对木材材质预测模型进行研究,主要包括形式趋势线性拟合预测、理论趋势线性拟合预测、季节预测、一元和多元线性回归预测、非线性回归预测、随机时序预测模型以及预测结果评价。

木材材质预测与木材品质评价之间的关系是木材材质预测学的研究内容之五。

这里重点研究木材品质评价与木材加工利用之间的关系,建立评价木材某种定向用途品质评价理论模式,研究木材材质预测与木材品质评价之间的关系,提出木材材质预测研究模式。

1.1.4 木材材质预测研究现状

木材材质预测研究是木材科学的应用基础。随着木材工业的发展,人们已经把营造工业用材林基地视同生产和加工木材原料的绿色车间。为了得到持续、稳定和高产的优质木材原料,在以生产具备木材加工最终产品所需材性的原材料这一总目标要求下,世界各国已经改变了传统的营林与加工利用分离的状态,形成了营林与加工利用一体化的“林—工”生产体系。这一体系的形成必将为促进林业与加工业共同发展的良性循环奠定坚实的基础。

随着世界天然森林资源的枯竭,可供加工利用的木材原料越

来越少，取而代之的将是大量的人工速生林。多少年来，人们只注重林木的速生丰产，忽视了速生优质，致使培育的工业用材林不能达到预期应用的目的。目前，提高人工林的木材质量已经受到了世界各国木材科学工作者的普遍重视，在培育定向人工林的经营管理过程中，把速生、丰产、优质放到了同等重要的位置。因为当前和未来木质材料的质量决定着木制品的性能，只有优质的木材才可能生产出优质的产品，这也是国际市场激烈竞争的主要原因。研究表明，木材的密度、纤维的长度、晚材率、未成熟材、边材与心材的比例以及木材的圆满度和节疤的多少，都对木材的质量及木制品的质量有着显著影响。木材的密度是评定木材材性的重要指标之一。通常高密度的木片有较高的纸浆得率，但对纸的强度，特别是对于撕裂与拉伸强度有着不利的影响。边材与心材的比例也是工业用材选择的指标之一，不仅在制浆和造纸过程中需要木材有较大的边材量，而柱原木和桩原木的工业用材中亦同样需要边材含量较大的木材，因为这种原木易于进行防腐处理。总之，在进行森林经营的决策时对于工业用材林不仅要考虑木材材积问题，更重要的是要考虑木材的材质与材性、躯干大小和形状以及加工成木制品后能否受到使用者欢迎等一系列问题。因此，在速生丰产林的培育过程中，只有高度重视木材质量才能真正地提高培育的实际成效，实现工业用材林定向应用的价值。

短周期工业材由于树种的选择及短轮伐期所形成的多木节、幼龄材含量高、应力木和宽年轮等，导致木材质量下降。因此，不仅要求在木材加工的工艺方面予以改进，更希望采用适当的集约经营措施以提高木材的材质。

目前，国内外木材材质早期预测的研究刚刚起步，所见报道文献较少。我国从“八五”科技攻关开始进行了这一课题研究，主要对目前现有人工林木材质进行早期测定。栾树杰等对红松树

木不同部位材质的相关性进行研究,指出用树木的枝条材质对树干材质进行预测;徐有明等对火炬松的密度进行研究,得出用5年生的火炬松预测9年~10年树木基本密度是可行的;施季森等利用幼龄材与成熟材的相关性,测定杉木1年~15年生的幼龄材的管胞长度和密度,经相关分析表明,可较好地预测成熟材的相应材性指标。Zobel 等对人工林培育措施对木材材质影响进行过较系统研究,认为合适的培育措施可以在某些方面改变木材材质的变化。

木材材质预测学的研究旨在谋求人工林速生丰产的同时,为实现林木定向培育、速生优质、制定科学的集约经营措施提供理论依据,以便确定最佳轮伐期、充分利用林地、改进相应的生产工艺技术、扩大木材的利用和使用范围。材质的早期预测是定向培育人工林的技术关键,通过早期预测可以及时地调整人工林培育技术方案,使其按着预期的应用目的来培育优质人工林。

1.2 人工林经营概况

随着现代林业科技的发展,世界各国对人工造林、人工林更新、集约培育普遍关注。对人工林培育的目标是定向培育、速生、丰产、优质、高效、稳定等。现有人工林培育主要为纸浆、建筑、胶合板等培育木材。

在国外,对人工林培育木材的质量十分重视,把人工林的速生与丰产放在同等位置。通过有效的技术措施,使培育的人工林木材具有密度大、纤维长、节疤少等优点,这对木材的加工利用有至关重要的价值。

在国内,建国以来在不同立地条件下营造了较大面积的人工林、人工天然混交林。主要树种有红松、落叶松、樟子松、杨树、水曲柳、胡桃楸等。为了提高林分质量,使之成活、成林、成材,

并使预定目标得以实现,全国各林业高等院校、研究单位、生产部门均对人工造林进行了系统研究,几十年来取得了良好效果,这对缓解我国木材资源短缺起到了积极作用。

1.2.1 湿地松经营概况

1.2.1.1 湿地松的生物学特征

湿地松(*Pinus elliottii* E.)为常绿乔木,树干高达30 m,主干可达20 m以上,胸径一般达60 cm~70 cm,干形圆满通直,树冠为卵圆形,树皮为橙棕色或红棕色,粗糙且具鳞纹,叶为2针或3针一束,呈暗绿色,花单性,雌雄同株,种子卵圆形,略呈三角形。

湿地松是强阳性树种,喜欢夏季炎热、潮湿和冬季暖和、干燥的气候,对气温有较强的适应性,不仅能在潮湿和排水不良的地方生长,而且也能够在干旱、贫瘠的丘陵地区。

1.2.1.2 湿地松引种概况

湿地松具有早期速生、材质优良、松脂产量高和质量好等特点,已经在世界各地广泛种植。目前全世界已种植700多万公顷湿地松,其中约74%分布在美国,26%左右在其他国家;其中60%分布于亚太地区,20%在中南美洲,11%在南部非洲国家。

我国于30年代初开始引种,但发展不快,直至60年代中期,广东省林业科学研究所才开始营建湿地松无性系种子园,70年代开始提供种子。人工林湿地松大规模引种是在80年代初期开始。据资料记载表明,1982年南方15省营造人工林湿地松20多万公顷,到1989年猛增至100多万公顷,其中70%以上分布在广东省,预计未来20年~30年内,湿地松的造林面积仍将以较大幅度增加。

潘志刚等人在总结我国人工育苗栽植引进湿地松的生长情况时指出: