

人工林木材性预测研究进展

张黎^{1,2}, 赵荣军^{2*}, 费本华²

(1. 西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨陵 712100 2. 中国林业科学研究院 木材工业研究所, 北京 100091)

摘要:为解决人工林定向培育与木材加工利用相脱节的状况,木材材质预测逐渐成为人工林培育科学与木材科学领域研究的中心问题之一。系统地总结了人工林木材性预测的方法,通过分析比较各种预测方法,以期对我国人工林木材性预测的深入开展起到一定的借鉴意义,更好地用于指导人工林定向培育和木材加工利用。

关键词:人工林;材性预测;遥感技术;人工神经网络;近红外光谱技术

中图分类号: S781.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-7461(2008)02-0160-04

Progress on Prediction of Wood Properties from Plantation

ZHANG Li^{1,2}, ZHAO Rong-jun^{2*}, FEI Ben-hua²

(1. Institute of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: In order to solve the disconnection between oriented cultivation of plantation and wood processing, the prediction of wood properties gradually becomes one of crucial subjects in the domain of plantation cultivation science and wood science. Prediction methods of wood properties from plantation were systemically summed up and each method was analyzed and compared to provide certain model significance for the further development of prediction of wood properties and better instruction for oriented cultivation of plantation and wood processing.

Key words: plantation; prediction of wood property; remote sensing technique; artificial neural network; near-infrared spectroscopy technique

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、高效地利用木材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^[1],它将对解决林木培育与木材加工利用相脱节的状况具有重大意义。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,不断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,于是对人工林木材性进行预测就应运而生了。我国从“八五”科技攻关开始有关人工林木材性预测方面的研究^[1],对国内人工林木材性预测 10 多年来研究历程进行了较为

系统的总结,以期对我国人工林木材性预测的深入开展起到一定的借鉴意义。

1 传统材性预测方法

1.1 人工林木材成熟材与幼龄材的界定及材性早期预测

在木材解剖特征,如管胞/纤维长度、管胞的径弦向直径、纤维的长宽比、微纤丝角等几项指标和木材物理力学特征,如生长轮宽度、晚材率、生长轮密度和胞壁率等几项指标沿髓心到树皮的径向变异和由树木的根部到树冠的纵向变异规律的基础上,采用最优分割法(有序分类法)划分成熟材与幼龄材的界限,用幼龄材部分的数据,回归出各材性指标随生长轮变异的模式。再由此方程向外延伸至成熟材

收稿日期 2006-05-09 修回日期 2007-07-09

基金项目 国家林业局“948”引进项目“人工林木材性快速预测技术引进”(2006-4-96)。

作者简介 张黎(1982-),女,河南周口人,硕士研究生,研究方向 木材科学。

* 通讯作者 赵荣军。

部分,得到成熟材的预测值^[1-3]。评价模型优劣采用最基本的方法—验证实测值与预测值的拟合程度,利用预测值与现有的被预测样本的实测值比较,计算相对误差和标准差,进行验证。

1.2 人工林木材材性与树龄和生长速度间关系模型

在探讨不同生长条件下的纤维长度、微纤丝角和木材密度分别随树龄和生长速度变化规律的基础上,采用多元线性回归分析来分别模拟纤维长度、微纤丝角和木材密度与树龄和生长速度之间的关系模型,通过方程式转换和推导建立纤维长度、微纤丝角、木材密度随树龄和生长速度两因子共同变化的模型,再代入数据进行回归,并采用回归显著性检验来验算回归效果^[4-5]。

1.3 人工林木材物理力学性质预测模型

以应用正交试验设计方法对不同林龄、不同立地条件和不同林分密度下人工林木材物理力学性质变异规律的研究为基础,对各因素各水平下各力学性质指标均值、各物理性质指标均值进行多元线性回归分析,得出各种力学性质指标和物理性质指标的回归方程、偏相关系数和复相关系数,并进行回归方程显著性检验。可通过比较各物理力学性质指标的偏相关系数的正负性和绝对值大小,确定林龄、地位指数和林分密度与物理力学性质指标的正负相关性及其影响程度^[6]。

此外,还有以树枝的树龄、轮宽和晚材率3个指标推导树干上部的材性数值^[7],试件宏观弹性模量随细胞解剖结构变化^[8]和以树木直径、年轮数和气候等指标为自变量,基本密度、晚材率、幼龄材直径、心材直径等为因变量,采用混合线性分析方法建立预测模型等预测方法^[9]。

分析认为:传统材性预测方法,通常是选择几株多则十几株有代表性的木材,伐倒并气干后加工成标准试样,测试木材的解剖、物理力学和化学性质,分析其径向、纵向以及株间、无性系间、种源间的变异规律,再采用多元线性回归分析方法建立直观的模型。研究表明,采用此方法对木材材性预测是可行的,但对某些变异性较为复杂的材性指标,其拟合精度和相关性相对较低,有时甚至难以表达和描述出木材自身的变化特点^[3];而且,这种预测方法效率低、覆盖面小、费时费力、还需要砍伐树木,使得研究人员和相关生产单位对木材材性的大面积、快速、准确预测受到限制。

2 基于遥感技术预测木材性质

以某一试验地人工林高空间分辨率的 Quick-

Bird 卫星影像作为数据源,对卫星影像进行几何校正、主成分变换等数据融合、彩色处理和阴影去除等图象处理和基于 eCognition 图象分析软件的多尺度图象分割等图象分析技术^[10],提取单株人工林树冠冠幅值,其影像提取冠幅的精度达到95%以上^[11]。

建立回归统计模型。首先描绘 QuickBird 卫星影像上测量冠幅与木材性质的散点图,根据散点图分布的特点,选择最优的直线或曲线进行拟合。根据拟合曲线的决定系数(R^2)值大小,依次向方程中引入 QuickBird 卫星影像估测的立木度、预测胸径、预测树高等变量。以卫星影像估测的冠幅、胸径等树木特征因子为自变量,主要力学性质、基本密度、解剖性质和化学性质等为因变量^[12],利用最小二乘法或偏最小二乘法产生无偏参数估计进行多元回归分析,求解参数,选择决定系数(R^2)最大、均方误差平方根(RMSE)最小的方程作为利用遥感技术估测木材性质的关系模型^[11]。通过均方误差平方根(RMSE)、决定系数(R^2)、预测残差平方和(PRESS)等主要指标评价模型优劣。

研究表明,应用多元回归分析方法建立的 QuickBird 卫星影像估测的树木特性因子与木材性质的关系模型,对某些木材性质预测效果较好,模型的预测精度在76%以上;而对木材抗弯强度、基本密度、纤维形态特征等木材性质预测效果一般^[13-14]。与传统预测方法相比,在获取原始数据方面,遥感技术具有高效、省时省力、覆盖范围广、无需破坏树木等特点^[12]。目前在我国遥感技术应用于材性预测还是首次尝试,但为我国木材材性预测开辟出一条新的道路^[11,14]。

3 人工神经网络建模方法

人工神经网络技术是一种模拟人脑神经系统工作方式的人工智能思想,它具有良好的非线性映射能力、自学习适应能力和并行信息处理能力,为解决未知不确定的非线性系统的建模提供了新思路。自1943年第一个神经网络的原型产生以来,相继发展了30个左右不同类型的人工神经网络^[15],我们可根据研究情况选择合适的种类,如葛利等^[16]采用用于时间序列预测较为成熟的多层前馈神经网络建立木材生长轮密度预测模型。它是以木材生长轮密度的时间序列为原始数据,选取一定的训练样本,使用 matlab 神经网络工具箱,进行前馈神经网络的预测建模。通过动态调整神经网络中神经元的互连权值和阈值,拟合木材生长轮密度时间序列数据内的映射关系,实现对木材生长轮密度的预测。可通过验证实测值与预测值的拟合程度,利用预测值与

现有的被预测样本的实测值比较,计算相对误差和标准差对模型进行验证。

与前2种建模方法不同,神经网络作为一个黑箱综合地影射出研究对象的整体性,建模简单,模型精度高,预测程序均在MATLAB平台上完成,预测易于完成。但是,目前在材性预测方面采用的人工神经网络无法确定输入变量的相对贡献,连接相邻2层上的节点权重因素亦很难作出直观的解释,无法表达和分析被预测系统的输入变量和输出变量间的关系,因而也难于对求得的数据做统计预测。而前面所用的一元/多元回归分析可以描述自变量的相对重要性,并且有直观的模型表达式^[11]。

4 结合近红外光谱技术预测木材材性

近红外分析技术的应用过程主要通过以下几个步骤完成:采集足量的有代表性的样本,根据样品的状态,采用合适的方式测得样品的近红外光谱,选择在光谱和化学特征上有代表性的样本建立样本集;采用标准或权威方法,测定样品组分浓度或性质(化学、物理、解剖性质);对校正集光谱数据进行合理的预处理(平滑处理、基线校正、导数处理等),选择合适的化学计量学方法(多元线性回归MLR、主成分回归PCR、偏最小二乘法PLS等),建立初步的校正模型,对初步建立的校正模型加以训练、验证和改进,得到稳定、准确、可靠的校正模型,利用建立的校正模型,对未知样品的性质进行预测分析^[17]。

用近红外光谱技术分析木材性质关键是建立相应的数学模型。建立数学模型的过程就是关联样品光谱与待测木材性质间的数学关系^[17]。通过考查相关系数、校正标准误差、预测标准误差等,对模型进行验证,最终选择相关系数高,校正标准误差和预测标准误差低的数学模型^[18]。

而与前几种方法相比,近红外光谱技术是一种较系统的研究方法。近红外光谱技术预测木材性质在我国是近几年逐渐兴起的一项新的无损检测技术。它可实现对木块、生长锥木芯、木粉等不同形态或混合树种的木材化学、物理力学、解剖性质及腐朽木材化学成分^[19-22]等的预测。其建立模型的本质就是关联样品光谱与待测样品的木材性质。研究表明,采用近红外光谱技术对木材主要物理力学、解剖性质、化学成分进行预测,均取得较好的预测效果,模型的预测精度在80%以上^[17]。但正是近红外光谱技术是一种系统性的研究方法,整个过程中任何一处产生变化,预测结果就会产生变化。总之,要建立稳定、可靠、准确的模型,必须反复训练和优化模型^[18]。

通过以上的讨论分析可看出,传统的材性预测方法已经无法满足现代集约化林木经营和快速发展的木材加工需要,而遥感技术和近红外光谱技术均是快速、低成本、无损的检测方法。基于遥感技术直接或间接获取的树木特征参数对木材性质进行预测与近红外光谱技术相比,其覆盖范围很广,这是其他预测方法无法比拟的,而所建模型的预测精度不及近红外光谱技术,并且近红外光谱技术可实现对未参与建模的样本性质进行预测,这样的预测结果更有说服力。神经网络是一种非线性的建模方法,可尝试与遥感技术、近红外分析技术等方法相结合,以建立高精度的预测模型^[11 23]。

5 讨论与展望

综合以上分析认为,我国在人工林木材性预测研究方法方面取得了许多成果,总的趋势是朝着快速、准确、低成本、无损的预测方向发展,这与当前国内和国外林业发展方向和木材加工的需要相适应。但是,我国在材性预测方面与国外还存在一定的差距,如澳大利亚CSIRO研究院Dr Evans等在大量试验基础上发明木材材性快速测定仪SilviScan,目前已发展至第三代,采用这种仪器直接或间接测得生长锥木芯密度、微纤丝角、管胞/纤维径弦向直径、MOE等原始数据^[24],再结合近红外光谱可实现全过程无损预测^[25-28]。

目前我国学者对针叶材(长白落叶松、湿地松、火炬松、马尾松、杉木、红松、赤松等)材性预测研究较多,而对阔叶材^[29-31]研究较少,尤其对我国主要工业人工林杨树和桉树木材材性预测研究很少。在这方面新西兰林业研究所对辐射松进行较系统、深入研究的成功经验,和澳大利亚联邦科学院在桉树材性预测方面的科学实践值得我们借鉴学习。

在国外,新的材性预测方法—近红外光谱技术获得了积极广泛的应用,在我国,中国林科院的科研工作者在此方面率先开展试验,取得了理想的预期结果^[32-35],今后亦将继续深入开展试验,建立广泛适用于我国人工林木材性的预测模型,实现由实验室到林场材性即时预测,更好地用于指导人工林定向培育和木材加工利用。

参考文献:

- [1] 王金满. 木材材质预测学[M]. 黑龙江: 东北林业大学出版社, 1997.
- [2] 鲍甫成, 江泽慧. 中国主要人工林树种木材性质[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998.
- [3] 郭明辉. 木材品质培育学[M]. 黑龙江: 东北林业大学出版社, 2001.
- [4] 鲍甫成, 江泽慧, 刘盛全. 人工林杨树材性与生长轮年龄和生

- 长速度关系的模型[J]. 林业科学, 1999, 35(1): 77-82.
- [5] 陈慈祿. 杉木人工林木材密度和纤维长度的预测模型[J]. 内蒙古林学院学报:自然科学版, 1999, 21(3): 75-78.
- [6] 林金国, 林思祖, 聂少凡, 等. 杉木短轮伐期工业材物理力学性质预测模型的研究[J]. 中南林学院学报, 1999, 19(3): 51-54.
- [7] 栾树杰, 郭德荣, 王书光, 等. 红松林木生长轮材质预测的研究[J]. 东北林业大学学报, 1991, 19(6): 54-60.
- [8] 侯祝强, 姜笑梅, 骆秀琴, 等. 针叶树木材细胞力学及纵向弹性模量的计算—试件纵向弹性模量的预测[J]. 林业科学, 2003, 39(2): 123-129.
- [9] WILHELMSSON L, ARLINGER J, SPANGBERG K, et al. Models for predicting wood properties in stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden[J]. Scand. J. For. Res. 2002(17): 330-350.
- [10] TOUTIN T. Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods[J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(10): 1893-1924.
- [11] 刘杏娥. 基于遥感技术预测小黑杨人工林木材性质的研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2005.
- [12] LEI Y C, ZHANG S Y, JIANG Z H. Models for predicting lumber bending MOR and MOE based on tree and stand characteristics in black spruce[J]. Wood Science and Technology, 2005, 39(1): 37-47.
- [13] AMRASEKARA H S. Juvenile wood formation in relation to crown size in Corsican pine[D]. Bangor University College of North Wales, 1990.
- [14] 刘杏娥, 江泽慧, 费本华, 等. 利用遥感技术预测人工林木材性质及其产品价值的初探[J]. 林业科学研究, 2005, 18(4): 425-429.
- [15] 林辉, 彭长辉. 人工神经网络在森林资源管理中的应用[J]. 世界林业研究, 2002, 15(3): 22-30.
- [16] 葛利, 陈广胜, 聂远志. 基于神经网络的木材生长轮密度预测模型[J]. 东北林业大学学报, 2005, 33(2): 84-85.
- [17] 黄安民. 人工林杉木木材性质的近红外(NIR)光谱预测[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2006.
- [18] 严衍祿. 近红外光谱分析基础与应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005.
- [19] 杨忠, 江泽慧, 费本华, 等. 近红外光谱技术及其在木材科学中的应用[J]. 林业科学, 2005, 41(4): 177-183.
- [20] CHILEUNG S, BRIAN K V, LESLIE H G, et al. Near infrared spectroscopy in the forest products industry[J]. Forest Products Journal, 2004, 54(3): 6-16.
- [21] SCHIMLECK L R, EVANS R, JLIC J. Application of near infrared spectroscopy to a diverse range of species demonstrating wide density and stiffness variation[J]. IAWA Journal, 2001, 22(4): 415-429.
- [22] STEPHEN S K, JODY J, BARRY G. Use of NIR and pyrolysis-MBMS coupled with multivariate analysis for detecting the chemical changes associated with brown-rot biodegradation of spruce wood[J]. FEMS Microbiology Letters, 2002, 209: 107-111.
- [23] 左平, 马驹良, 马捷. 近红外光谱分析中人工神经网络法的应用[J]. 吉林大学学报:理学版, 2006, 44(1): 57-60.
- [24] 赵荣军, 江泽慧, 费本华, 等. 澳大利亚桉树木材加工利用研究现状[J]. 世界林业研究, 2003, 16(3): 58-61.
- [25] SCHIMLECK L R, EVANS R. Estimation of air-dry density of increment cores by near infrared spectroscopy[J]. Appita Journal, 2003, 56(4): 312-317.
- [26] SCJIMLECK L R, EVANS R. Estimation of microfibril angle of increment cores by near infrared spectroscopy[J]. IAWA Journal, 2002, 23(3): 225-234.
- [27] SCJIMLECK L R, EVANS R, IJIC J, et al. Estimation of wood stiffness of increment cores by near-infrared spectroscopy[J]. Can. J. For. Res. 2002, 32: 129-135.
- [28] SCHIMLECK L R, JONES P D, PETER G F. Nondestructive estimation of tracheid length from sections of radial wood strips by near infrared spectroscopy[J]. Holzforschung, 2004(58): 375-381.
- [29] 徐有明, 林汉, 江泽慧, 等. 樟树人工林株间株内材性变异及其材性预测的研究[J]. 林业科学, 2001, 37(4): 92-98.
- [30] 徐有明, 林汉, 江泽慧. 橡胶树生长轮宽度、木材密度变异及其预测模型的研究[J]. 林业科学, 2002, 38(1): 95-102.
- [31] 姜笑梅, 殷亚方, 浦上弘幸. 北京地区 I-214 杨树木材解剖特性与基本密度的株内变异及其预测模型[J]. 林业科学, 2003, 39(6): 115-121.
- [32] 江泽慧, 黄安民, 王斌. 木材不同切面的近红外光谱信息与密度快速预测[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(6): 1034-1037.
- [33] 赵荣军, 虞华强, 黄安民, 等. 利用近红外光谱法预测三种针叶树木材气干密度[C]//陆婉珍, 袁洪福, 褚小立, 等编. 当代中国近红外光谱技术-全国第一届近红外光谱学术会议论文集. 北京: 中国石化出版社, 2006: 411-415.
- [34] 李改云, 王戈, 黄安民, 等. 毛竹化学成分的近红外光谱法测定[C]//陆婉珍, 袁洪福, 褚小立, 等编. 当代中国近红外光谱技术-全国第一届近红外光谱学术会议论文集. 北京: 中国石化出版社, 2006: 407-410.
- [35] 王玉荣, 费本华, 任海青, 等. 6种棕榈藤藤芯密度的近红外光谱分析[C]//陆婉珍, 袁洪福, 褚小立, 等编. 当代中国近红外光谱技术-全国第一届近红外光谱学术会议论文集. 北京: 中国石化出版社, 2006: 416-419.