

棕榈藤纤维和导管长度的近红外光谱预测研究

王玉荣¹, 任海青¹, 赵荣军¹, 刘杏娥^{2*}

1 中国林业科学研究院木材工业研究所, 北京 100091

2 国际竹藤网络中心, 北京 100102

摘要 对我国华南地区六种棕榈藤的纤维和导管形态特征进行了观测, 研究了应用近红外光谱分析技术预测棕榈藤纤维长度和导管长度的可行性。结果表明: 六种棕榈藤的纤维平均长度在 $1\,229 \sim 1\,917\,\mu\text{m}$, 导管的平均长度在 $1\,035 \sim 2\,129\,\mu\text{m}$; 发现棕榈藤纤维长度和导管长度模型的建立采用偏最小二乘法和完全交互验证法, 在 $350 \sim 2\,454\,\text{nm}$ 谱区内用一阶导数处理的光谱与纤维长度之间建立的模型的相关性较好, 校正模型和预测模型的相关系数 r_c 和 r_p 及标准误差 SEC 和 SEP 分别为 0.98 , 0.85 和 70 , 178 , 在 $350 \sim 2\,500\,\text{nm}$ 全谱区内用一阶导数处理的光谱与导管长度之间建立的模型的相关性也较好, 校正模型和预测模型相关系数 r_c 和 r_p 及标准误差 SEC 和 SEP 分别为 0.97 , 0.80 和 101 , 261 。说明红外光谱分析技术可以用来预测棕榈藤的纤维长度及导管长度。

关键词 棕榈藤; 纤维长度; 导管长度; 近红外光谱

中图分类号: S781.1 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1009-0593(2011)04-0966-04

引言

棕榈藤隶属于棕榈科, 是单子叶植物。棕榈藤原藤与木材与竹材最大的不同是其茎多为攀缘状, 韧性良好, 是藤家具和一些藤工艺制品的优良材料^[1]。棕榈藤材的显微构造与木材不同, 主要区别是棕榈藤材的维管束呈星散状分布于基本组织中^[2]。其中组成维管束的两大主要组分是纤维和导管, 由于维管束的分布方式的不同, 决定了棕榈藤茎中纤维和导管存在形式与木材中的不同。目前, 关于生物质材料中的纤维和导管形态特征通常采用传统的组织切片法和纤维离析图像分析等方法获得相关的信息。对于应用无损检测技术对其纤维和导管形态特征参数进行预测在木材中也少有报道^[3, 4]。近红外光谱分析技术是一项现代无损检测技术, 它具有不破坏样品而对样品的成分和结构进行定性和定量分析的特点^[5]。近年来近红外光谱分析技术在木材的解剖、物理力学及化学等木材性质预测和评价方面应用越来越多^[6-10]。近红外光谱分析技术应用于木材性质的检测原理是依据样品光谱所包含的结构与组成信息与木材性质之间建立数学关系, 来预测或评价未知样品的性质^[11]。由于棕榈材在显微结

构上与木材有显著不同, 本文应用传统的离析与图象分析测量法观察测量了六种棕榈藤藤材样品的纤维及导管形态, 并将测得的纤维长度和导管长度实验值与近红外光谱数据建立数学关系模型, 探索应用近红外光谱分析技术预测棕榈藤藤材纤维和导管长度的可行性, 以期快速评估棕榈藤材的这两项材质特性指标提供新的方法和手段。

1 材料和方法

1.1 材料

六种大中径棕榈藤即黄藤 (*Daemonorops margaritae* (Hance) Becc.), 钩叶藤 (*Plectocomia kerrana* Becc.), 单叶省藤 (*Calamus simplicifolius* Wei), 弓藤 (*Calamus rhabdocladus* Burret), 大白藤 (*Calamus faberii* Becc.), 广西省藤 (*Calamus guangxiensis* C. F. Wei) 采自广东, 广西及海南省。每种取 3 株, 在每株的基部, 下部, 中部及上部各截取 $45\,\text{mm}$ 的藤段, 将其从外向内锯解成厚度为 $15\,\text{mm}$ 的薄片试样。将此小试样用于近红外光谱的采集及纤维和导管形态的测量。

1.2 近红外光谱采集及实验真值测量法

收稿日期: 2010-05-10, 修订日期: 2010-08-20

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目(2006BAD19B01), 国家林业局“948”引进项目(2006-4-96)和国际竹藤网络中心基本科研业务专项基金项目(1632008001)资助

作者简介: 王玉荣, 1974 年生, 中国林业科学研究院木材工业研究所助理研究员 e-mail: yurwang@caf.ac.cn

* 通讯联系人 e-mail: liuxue@icbr.ac.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

采用美国 ASD 公司生产的 LabSpec 光谱仪, 在实验室温湿度恒定的情况下, 在全波谱范围(350~ 2 500 nm) 内采用两分叉光纤探头在样品 45 mm 弦切面的中间部位采集藤材光谱, 每个样品采集光谱两次, 每个面一次。所有的试样在采集光谱前均在恒温恒湿箱中进行含水率平衡, 含水率为 12% 左右。光谱数据采集及预处理采用的是 ASD 公司的 Indico 软件, 进行多变量数据分析与建立模型时采用 CAMO 公司的多变量统计分析软件 Unscramber。

在纤维和导管实验值测量前, 首先应用常规的组织切片法对棕榈藤材的纤维和导管的显微形态进行了原位观测。然后将采集光谱的样品的相应部位进行材料离析, 采用的离析液是冰醋酸与过氧化氢混合离析液。离析样品置于 80 ℃ 烘箱中加热离析约 3~ 5 天。离析后的样品用 2% 番红染液染色, 在光学显微镜下用图象分析系统进行纤维和导管长度和宽度实验值的测量。

2 结果与讨论

2.1 棕榈藤纤维及导管形态特征

棕榈藤为单子叶植物, 主要特点是茎干由星散维管束组成^[2]。存在于皮层及维管束鞘的纤维及后生木质部大导管是其微观构造中的两大主要组成部分。其对棕榈藤藤材的利用及品质具有重要影响^[12]。图 1 为采用切片法原位观测到的黄藤藤茎的纤维和大导管的显微形态, 图 2 为材料离析分离出来的纤维和大导管显微形态。离析后的样品应用显微图象分析系统测量其纤维及导管长度和宽度, 表 1 所示的是六种藤材的纤维和导管平均形态特征值。

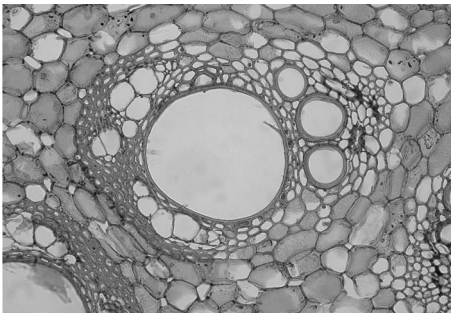


Fig 1 Microstructure of cross section of rattan

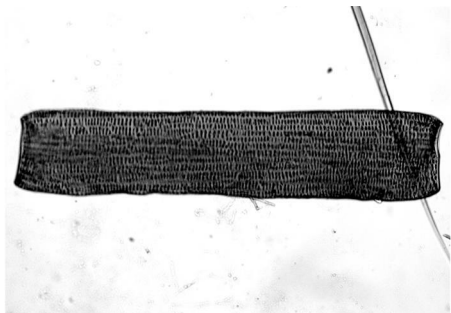


Fig 2 Micromorphology of fiber and vessel rattan

相对于其纤维长度和导管长度来说, 各藤种的差异较小。近红外光谱与棕榈藤藤材性质实验值间建立校正模型和预测模型, 需要光谱值与实验值进行一一对应。在测量的棕榈藤的各小试样中, 其纤维长度值范围在 2 417~ 975 μm, 导管长度值范围在 2 787~ 712 μm, 纤维宽度值范围在 22~ 14 μm, 导管宽度值范围在 350~ 99 μm。

Table 1 Morphological characteristics values of fibers and vessels of six rattan species

藤种	纤维长度 /μm	纤维宽度 /μm	导管长度 /μm	导管宽度 /μm
大白藤	1 917	19	1 593	208
钩叶藤	1 801	19	1 642	274
广西省藤	1 635	15	1 035	142
单叶省藤	1 584	19	2 129	312
弓藤	1 530	15	1 445	244
黄藤	1 229	17	1 422	233

2.2 近红外光谱预测棕榈藤藤材纤维及导管长度

2.2.1 棕榈藤近红外光谱图

在采用近红外光谱分析技术时, 根据研究材料的材性指标的不同, 选择不同的采谱切面。棕榈藤纤维及导管沿轴向伸长, 预测其纤维形态和导管形态时, 采集其弦切面光谱信息, 光谱图见图 3。棕榈藤的光谱图与木材的光谱图在谱区分布类型上是一致的, 但在光谱吸收强度方面表现不同。

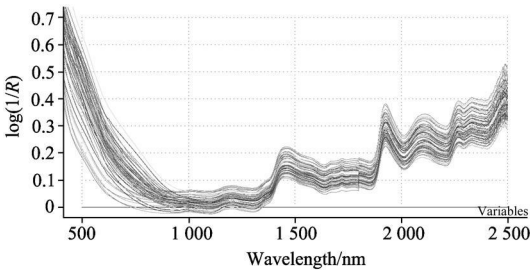


Fig 3 Absorption spectra of tangential section of rattan

2.2.2 棕榈藤纤维及导管数据分析及模型建立

采集样品弦切面光谱时设计将一个弦切片的两面均进行采谱, 以保证光谱包含较全的样品信息。分析时首先采用多变量分析软件求得样品光谱平均值, 并将原始光谱进行一阶导数(图 4) 和二阶微分预处理, 采用偏最小二乘法及完全交互验证法, 在全波段 350~ 2 500 nm 谱区内分别建立原始光谱、一阶导数和二阶微分预处理后光谱与纤维长度、纤维宽

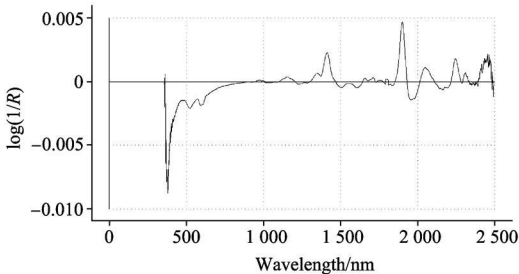


Fig 4 First derivatives of tangential section of rattan

度和导管长度、导管宽度间的校正模型和预测模型。

纤维长度预测研究结果表明: 去掉部分信噪比较大的谱区, 在 350~ 2 454 nm 谱区内用一阶导数处理的光谱与纤维长度之间建立的相关性较好, 校正模型和预测模型的相关系数分别达到了 0.98 和 0.85, 建立的校正模型和预测模型见图 5 和图 6; 导管长度预测研究结果表明: 在 350~ 2 500 nm 全谱区内用一阶导数处理的光谱与导管长度之间建立的相关

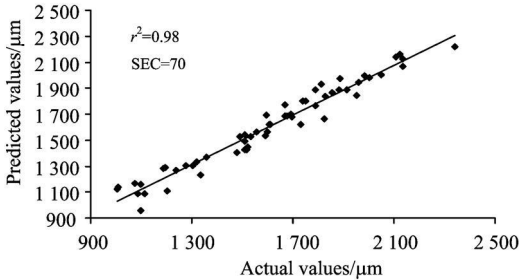


Fig 5 Calibration model of fiber length of rattan

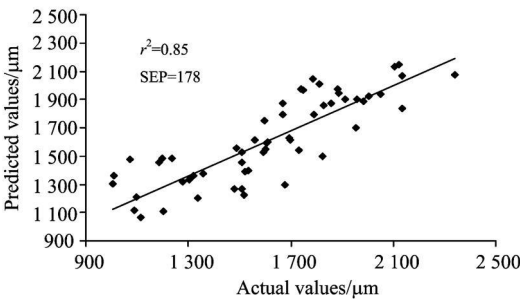


Fig 6 Prediction model of fiber length of rattan

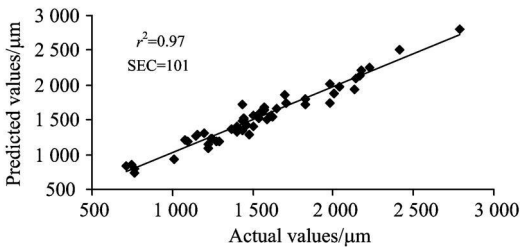


Fig 7 Calibration model of vessel length of rattan

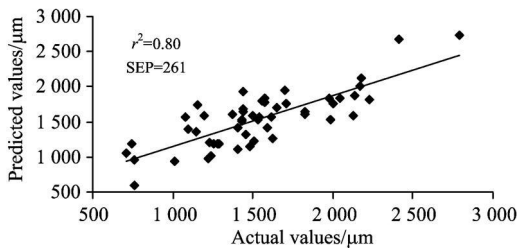


Fig 8 Prediction model of vessel length of rattan

性较好, 校正模型和预测模型的相关系数分别达到了 0.97 和 0.80, 建立的校正模型和预测模型分别见图 7 和图 8。纤维长度和导管长度模型的详细相关指标见表 2。

Table 2 Predicted results of fiber length and vessel length of rattan

类别	主成分分数	校正模型			预测模型		
		r	RMSEC	SEC	r	RMSEP	SEP
纤维长度	12	0.98	69	70	0.85	177	178
导管长度	11	0.97	100	101	0.80	258	261

另外, 在建模的过程中发现纤维宽度和导管宽度与近红外光谱数值没有明显的相关关系。分析其原因, 认为主要有两方面, 一方面从实验值分布范围来看, 相对于纤维长度和导管长度数值而言, 纤维宽度和导管宽度数值分布范围较窄, 推测参与建模的数值的分布范围较窄可能是影响其相关性低的一个原因; 另一方面从实验值精度来看, 由于纤维宽度和导管宽度数值相对较小, 推测在测量时可能人为带来的误差也降低了实验值的精度, 从而对模型的精度也有一定的影响。

3 结 论

采用组织切片法对棕榈藤的纤维和导管的显微形态进行了原位观测, 确定其纤维和导管的分布形式与木材不同。将我国华南地区的六种棕榈藤的纤维和导管进行离析, 应用图象分析测量法对其纤维形态特征和导管形态特征进行了测量, 发现六种棕榈藤的纤维平均长度在 1 229~ 1 917 μm , 平均宽度在 15~ 19 μm , 导管的平均长度在 1 035~ 2 129 μm , 平均宽度在 1.42~ 274 μm 。应用近红外漫反射光在 350~ 2 500 nm 全波谱范围内采集棕榈藤藤材弦切面光谱信息, 将原始光谱数据进行一阶导数和二阶微分预处理, 并结合偏最小二乘法 and 完全交互验证法建立模型, 结果表明, 棕榈藤材的纤维长度和导管长度与近红外光谱值具有较好的相关关系, 未发现其纤维宽度及导管宽度与近红外光谱信息与具有明显的相关性。在建立纤维长度和导管长度模型中, 发现在 350~ 2 454 nm 谱区内用一阶导数处理的光谱与纤维长度之间建立的模型的相关性较好, 校正模型和预测模型的相关系数 r_c 和 r_p 及标准误差 SEC 和 SEP 分别为 0.98, 0.85 和 70, 178, 在 350~ 2 500 nm 全谱区内用一阶导数处理的光谱与导管长度之间建立的模型的相关性较好, 校正模型和预测模型相关系数 r_c 和 r_p 及标准误差 SEC 和 SEP 分别为 0.97, 0.80 和 101, 261。由此看来, 棕榈藤纤维长度和导管长度模型特征值均表明近红外光谱分析技术可以用来预测其纤维长度和导管长度。

References

- [1] JIANG Ze-hui(江泽慧). Bamboo and Rattan in the World(世界竹藤). Shenyang: Liaoning Science and Technology Publishing House(沈阳: 辽宁科学与技术出版社), 2002. 425.
- [2] CHENG Jun-qing(成俊卿). Wood Science(木材学). Beijing: China Forestry Publishing House(北京: 中国林业出版社), 1985. 4.
- [3] Schimleck L R, Jones P D, et al. Holzforschung, 2004, 58: 375.
- [4] WANG Yi-rong, FEI Ben-hua, FU Feng, et al(王玉荣, 费本华, 傅峰, 等). China Pulp & Paper(中国造纸), 2008, 6: 6.
- [5] LU Wan-zhen, YUAN Hong-fu, XU Guang-tong, et al(陆婉珍, 袁洪福, 徐广通, 等). Modern Near Infrared Spectroscopy Analysis Technology(现代近红外分析技术). Beijing: China Petrochemical Press(北京: 中国石化出版社), 2001. 10.
- [6] Sykes R, Li B, Hodge G, et al. Canadian Journal of Forest Research, 2005, 35: 2423.
- [7] Kelley S S, Rials T G, Groom L R, et al. Holzforschung, 2004, 58: 1.
- [8] Schimleck L R, Evans R. Wood Sci. Technol., 2003, 56(4): 312.
- [9] Thumm A, Meder R. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 2001, 9(3): 117.
- [10] Batten G D. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 1998, 6(1): 105.
- [11] YANG Zhong, JIANG Ze-hui, FEI Ben-hua, et al(杨忠, 江泽慧, 费本华, 等). Scientia Silvae Sinicae(林业科学), 2005, 41(4): 177.
- [12] YAO Xi-shen, LI Yang, XU Huan-can, et al(腰希申, 李阳, 许煌灿, 等). Scientia Silvae Sinicae(林业科学), 1998, 34(3): 104.

Prediction of the Lengths of Fibers and Vessels of Rattans Using Near Infrared Spectroscopy

WANG Yi-rong¹, REN Hai-qing¹, ZHAO Rong-jun¹, LIU Xing-e^{2*}

1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China
2. International Centre for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China

Abstract The morphological characteristics of fibers and vessels of six rattan species in Southern China were investigated to study the feasibility of predicting the lengths of fibers and vessels of rattan species with application of analytical technologies of near infrared spectroscopy (NIR). The results showed that the average lengths of fibers and vessels of six rattan species were from 1 229 to 1 917 μm and from 1 035 to 2 129 μm , respectively. The models of length of fiber and vessel were constructed by combining partial least square (PLS) and full cross-validation, and a good correlation between the length of fibers and the spectrum transformed by the first derivative was found within the spectral range of 350~2 454 nm, and the correlation coefficient (r_c and r_p) and standard error (SEC and SEP) of calibration model and prediction model are 0.98, 0.85 and 70, 178 respectively, while a good correlation between the length of vessels and the spectrum transformed by the first derivative was found within the spectral range of 350~2 500 nm, the correlation coefficient (r_c and r_p) and standard error (SEC and SEP) of calibration and prediction model is 0.97, 0.80 and 101, 261 respectively. Their model parameters showed that NIR spectroscopic technique can rapidly and accurately predict the lengths of fibers and vessels of the six rattan species.

Keywords Rattan; Fibers length; Vessels length; Near infrared spectroscopy (NIR)

(Received May 10, 2010; accepted Aug. 20, 2010)

* Corresponding author