




DAXING CONGSHENG ZHUCAI
YINGYONG JICHU XINGNENG YANJIU

大型丛生竹材




应用基础性能研究

史正军 杨 静 杨海艳◎著



科学出版社



大型丛生竹材应用 基础性能研究

史正军 杨 静 杨海艳 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

丛生竹在我国竹林资源中占有重要地位, 其因具有生物量高、生长迅速、根系发达、繁殖容易、分布广泛等优点, 在竹产业发展和竹林生态建设等方面受到广泛关注。本书选择巨龙竹 (*Dendrocalamus sinicus* Chia et J. L. Sun) 和云南甜竹 [*Dendrocalamus brandisii* (Munro) Kurz] 两种典型大型丛生竹为代表, 以多个科研项目研究成果为基础, 重点从竹材物理力学性质、纤维形态、化学组成、成分分离、分子结构等方面系统介绍大型丛生竹的基础理化性质。本书以作者的研究成果和科研积累为素材, 深入浅出地讲解大型丛生竹材基础理化性质的研究方法和相关结论, 具有较强的科学性、实用性和可操作性, 书中内容对于丛生竹资源的研究及产业化开发利用具有较强的指导价值。

本书适合从事竹类资源培育、竹产业开发、生物质综合利用的相关研究人员和农林院校有关师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

大型丛生竹材应用基础性能研究 / 史正军 等著. — 北京: 科学出版社, 2018.3

978-7-03-055902-9

I. ①大… II. ①史… III. ①竹材-性能-研究 IV. ①S781.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 306240 号

责任编辑: 张 展 孟 锐 / 责任校对: 王 翔

责任印制: 罗 科 / 封面设计: 墨创文化

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年3月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2018年3月第一次印刷 印张: 12.5

字数: 256千字

定价: 79.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《大型丛生竹材应用基础性能研究》

编写委员会

主 编 史正军 杨 静 杨海艳

副 主 编

邓 佳 贺 斌 蔡年辉 王连春
刘瑞华 徐高峰 刘建祥 王大伟
刘蔚漪 解思达

编写人员

王大伟	西南林业大学	博士/讲师
王连春	西南林业大学	博士/副教授
邓 佳	西南林业大学	博士/副教授
史正军	西南林业大学	博士/副教授
刘建祥	西南林业大学	博士/讲师
刘瑞华	西南林业大学	硕士生
刘蔚漪	西南林业大学	博士/讲师
杨海艳	西南林业大学	博士/讲师
杨 静	西南林业大学	博士/副教授
贺 斌	西南林业大学	硕士/讲师
徐高峰	西南林业大学	博士/讲师
解思达	西南林业大学	博士/讲师
蔡年辉	西南林业大学	博士/副教授

资助项目

1. 国家自然科学基金项目：竹纤维化学塑化分子机理及调控机制研究(31760195)，滇产大型竹材细胞壁组分高效拆分机制与分子结构研究(No: 31560195)，巨龙竹半纤维素、木质素结构诠释及相互间化学键合机制解析(No: 31260165)
2. 西南林业大学木材科学与技术省级重点学科建设项目(No: XKZ200903)
3. 云南省竹藤科学研究创新团队建设项目(No: 2008OC001)
4. 云南省科技厅科学研究基金项目(No: 2015FD023)

前 言

竹类植物是森林资源的重要组成部分，既是十分重要的生物质资源，又是不可或缺的可再生经济资源，也是底蕴厚重的文化资源。充分发挥竹类资源的经济功能、生态功能和文化功能，对促进富民兴林、改善民生，改善生态环境、应对气候变化，弘扬生态文化、建设生态文明都具有重要的意义。

本书主要以云南省竹藤科学研究创新团队和西南林业大学生物质化学与材料课题组多年来在竹材培育与综合利用方面的研究成果为素材，采用概述与专题研究相结合的方式，全面而系统地介绍大型丛生竹材基础理化性质研究的最新成果，是史正军、杨静、杨海艳、邓佳等共同努力的结果。本书具体内容和编写分工如下：第 1 章介绍竹材资源及其开发利用状况，由贺斌、史正军、王连春编写；第 2 章测定巨龙竹物理力学性质，由刘瑞华、蔡年辉、刘蔚漪编写；第 3 章测定云南甜竹物理力学性质，由刘瑞华、王大伟、王连春编写；第 4 章分析巨龙竹纤维形态特征，由刘建祥、徐高峰编写；第 5 章分析云南甜竹纤维形态特征，由刘建祥、徐高峰、刘蔚漪编写；第 6 章测定巨龙竹细胞壁化学成分，由蔡年辉、史正军编写；第 7 章测定云南甜竹细胞壁化学成分，由杨静、解思达、王大伟编写；第 8 章研究巨龙竹半纤维素分离纯化及化学结构，由史正军、杨海艳编写；第 9 章研究云南甜竹半纤维素分离纯化及化学结构，由史正军、杨海艳编写；第 10 章研究巨龙竹木质素分离纯化及化学结构，由史正军、邓佳编写；第 11 章研究巨龙竹有机溶剂木质素及 LCC 连接键，由史正军、邓佳编写；第 12 章研究云南甜竹木质素分离纯化及化学结构，由杨静、杨海艳、解思达编写；第 13 章研究基于 DMSO/TBAH 全溶体系的云南甜竹组分分离方法及化学结构，由史正军、蔡年辉编写；第 14 章为全书总结与展望，由史正军、邓佳、杨海艳编写。

本书在研究与撰写过程中，得到了北京林业大学孙润仓教授及西南林业大学刘惠民教授、杜官本教授、辉朝茂教授、郑志锋教授、杨斌教授、宋维峰教授等专家的诸多指导和纠正，在此致以衷心感谢！

鉴于编者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请读者批评指正。

著 者

2016 年 3 月于昆明

目 录

第一篇 丛生竹材物理力学性质、纤维形态及化学组成

第1章 竹材资源及其开发利用	3
1.1 国内外竹类资源概况	3
1.1.1 世界竹类资源	4
1.1.2 中国竹类资源	4
1.1.3 丛生竹资源	5
1.2 国内外竹类资源开发利用现状及发展趋势	6
1.2.1 国内外竹类资源开发利用现状	6
1.2.2 国内外竹类资源开发利用发展趋势	10
1.3 中国竹类资源开发利用存在问题及对策分析	10
1.3.1 中国竹类资源开发利用存在问题	10
1.3.2 对策分析	12
第2章 巨龙竹物理力学性质	14
2.1 材料与方法	14
2.1.1 样品采集地的地理概况	14
2.1.2 材料及其保存	15
2.1.3 试样制作	16
2.1.4 部分试样含水率调整	16
2.1.5 物理力学性能测试	16
2.1.6 测试结果的统计处理	20
2.2 结果与分析	21
2.2.1 吸水率	21
2.2.2 干缩性	22
2.2.3 密度	24
2.2.4 湿胀性	26
2.2.5 纤维饱和点	27
2.2.6 顺纹抗压强度	28
2.2.7 抗弯强度	29

2.2.8	抗弯弹性模量	30
2.2.9	物理力学性质统计分析	30
2.3	本章小结	31
第3章	云南甜竹物理力学性质	33
3.1	材料与方法	33
3.1.1	实验用原竹采集	33
3.1.2	物理力学性能测试	34
3.2	结果与讨论	34
3.2.1	含水率	34
3.2.2	干缩性	35
3.2.3	密度	37
3.2.4	顺纹抗压强度	39
3.2.5	抗弯强度	41
3.2.6	抗弯弹性模量	41
3.2.7	纤维饱和点	41
3.2.8	湿胀性	42
3.3	本章小结	43
第4章	巨龙竹纤维形态特征	45
4.1	材料与方法	45
4.1.1	试样制备	45
4.1.2	纤维形态测定	45
4.2	结果与讨论	46
4.2.1	纤维长度、宽度及长宽比	46
4.2.2	纤维长度的分布频率	47
4.2.3	纤维细胞壁厚、腔径及壁腔比	49
4.2.4	纤维长度、宽度、长宽比统计分析	49
4.3	本章小结	50
第5章	云南甜竹纤维形态特征	52
5.1	材料与方法	52
5.2	结果与讨论	52
5.2.1	纤维长度、宽度与长宽比	52
5.2.2	纤维长度的分布频率	54
5.2.3	纤维细胞壁厚、腔径及壁腔比	55
5.3	本章小结	56
第6章	巨龙竹细胞壁化学成分	57
6.1	材料与方法	57

6.1.1	试样制备	57
6.1.2	化学成分测定	57
6.2	结果与讨论	60
6.2.1	灰分	61
6.2.2	木质素	62
6.2.3	综纤维素	63
6.2.4	多戊糖	64
6.2.5	抽出物	64
6.2.6	化学成分的统计分析	66
6.3	本章小结	66
第7章 云南甜竹细胞壁化学成分		68
7.1	材料与方法	68
7.2	结果与讨论	68
7.2.1	灰分	69
7.2.2	木质素	70
7.2.3	综纤维素	70
7.2.4	多戊糖	71
7.2.5	抽出物	71
7.3	本章小结	72

第二篇 丛生竹材细胞壁主要成分分离纯化及分子结构

第8章 巨龙竹半纤维素分离纯化及结构表征		77
8.1	材料与方法	78
8.1.1	实验材料	78
8.1.2	半纤维素分离纯化	78
8.1.3	半纤维素结构表征	80
8.2	结果与讨论	81
8.2.1	半纤维素得率	81
8.2.2	半纤维素分子质量	82
8.2.3	半纤维素化学组成	84
8.2.4	半纤维素红外光谱分析	85
8.2.5	半纤维素核磁共振波谱解析	86
8.3	本章小结	90
第9章 云南甜竹半纤维素分离纯化及结构表征		91
9.1	材料与方法	92
9.1.1	实验材料	92

9.1.2	半纤维素分离纯化	93
9.1.3	半纤维素结构表征	94
9.2	结果与讨论	95
9.2.1	半纤维素得率	95
9.2.2	半纤维素分子质量	96
9.2.3	半纤维素化学组成	97
9.2.4	半纤维素红外光谱分析	99
9.2.5	半纤维素核磁共振波谱解析	101
9.2.6	半纤维素热稳定性分析	105
9.3	本章小结	106
第 10 章 巨龙竹木质素分离、纯化及结构表征		107
10.1	材料与方法	108
10.1.1	实验材料	108
10.1.2	木质素分离纯化	108
10.1.3	木质素结构表征	109
10.2	结果与讨论	110
10.2.1	木质素得率与纯度	110
10.2.2	木质素分子质量及其分布	111
10.2.3	木质素红外光谱分析	112
10.2.4	木质素核磁共振分析	113
10.3	本章小结	120
第 11 章 巨龙竹有机溶剂木质素及 LCC 连接键的结构表征		121
11.1	材料与方法	122
11.1.1	实验材料	122
11.1.2	木质素分离纯化	122
11.1.3	木质素结构表征	123
11.2	结果与讨论	124
11.2.1	木质素组分分离	124
11.2.2	化学组成分析	125
11.2.3	分子质量分析	125
11.2.4	红外光谱分析	126
11.2.5	核磁共振分析	127
11.3	本章小结	134
第 12 章 云南甜竹木质素分离纯化及结构表征		135
12.1	材料与方法	136
12.1.1	实验材料	136

12.1.2	木质素分离纯化	136
12.1.3	木质素结构表征	137
12.2	结果与讨论	138
12.2.1	木质素得率与纯度	138
12.2.2	木质素分子质量及其分布	139
12.2.3	木质素紫外光谱分析	140
12.2.4	木质素红外光谱分析	141
12.2.5	木质素核磁共振分析	143
12.2.6	木质素热稳定性分析	150
12.3	本章小结	151
第 13 章	基于 DMSO/TBAH 全溶体系的甜龙竹组分分离及结构表征	152
13.1	材料与方法	153
13.1.1	实验材料	153
13.1.2	云南甜竹组分分离纯化	153
13.1.3	云南甜竹组分结构表征	155
13.2	结果与讨论	155
13.2.1	云南甜竹组分分离	155
13.2.2	化学组成分析	156
13.2.3	分子质量分析	157
13.2.4	红外光谱分析	157
13.2.5	核磁共振分析	158
13.3	本章小结	160
第 14 章	总结与展望	161
14.1	巨龙竹秆材基础理化性质	161
14.1.1	巨龙竹秆材物理力学性质	161
14.1.2	巨龙竹秆材纤维形态	162
14.1.3	巨龙竹秆材化学组成	162
14.1.4	巨龙竹秆材细胞壁主要组分化学结构	163
14.2	云南甜竹秆材理化性质	164
14.2.1	云南甜竹秆材物理力学性质	164
14.2.2	云南甜竹秆材纤维形态	165
14.2.3	云南甜竹秆材化学组成	166
14.2.4	云南甜竹秆材细胞壁主要组分化学结构	167
14.3	讨论与建议	168
参考文献	171

第一篇
丛生竹材物理力学性质、
纤维形态及化学组成

第1章 竹材资源及其开发利用

竹子是重要的森林资源，跟树木相比，竹子生长快，产量高，繁殖力强，一次种植可永续经营，是一类极好的可持续经营资源。目前，人类开发的各种竹材胶合板、竹刨花板、竹纤维板、竹材层压板等在一定程度上已能替代木材，可制作各种家具、地板、体育场馆建材和器具、车厢、集装箱等，并越来越受到人们的喜爱(张齐生，2007)。世界造纸工业每年消耗大量木材原料，是造成森林资源锐减的一个重要原因，而竹子生长快，产量高，纤维细长，竹浆的性能介于针叶材木浆和阔叶材木浆之间，明显优于草类浆，是一种优良的造纸原料，竹浆可单独或与木浆、草浆合理配用，生产多种质优价廉的文化纸、包装纸、工业技术用纸、纸板、胶版纸和铜版纸等纸制品。另外，竹林地下结构由庞大的鞭、根系统组成，系统内竹连鞭、鞭生笋、笋长竹、竹养鞭，形成一个有机的整体，盘根错节，具有很强的固土护岸、防止水土流失的功能，竹子枝叶繁茂，对降水有很好的截流作用，地下枯落物则可吸附水分并保持地温，因此竹子在退耕还林工程中已成为重要的林种(吴良如，1997；傅懋毅和杨校生，2003；辉朝茂等，2003)。

鉴于竹类植物既有直接生产竹材及副产品的经济效益，又有防风固土的生态效益，所以很早以来就被人类广泛用于建筑、造纸、运输、观赏、休闲和竹笋食用等诸多方面，东南亚各国更是把竹林资源誉为“绿色金矿”(吴炳生，1999)。在森林面积迅速减少而人类需求却日益扩大的今天，竹子以其独有的特点和独到的优势，越来越受到人们的重视，以竹代木、以竹养木、以竹胜木，必将是未来森林资源永续经营、林业产业持续发展的一个重要途径(周芳纯，1999；唐永裕，2001)。

1.1 国内外竹类资源概况

竹子是地球上最有生命力的植物之一，适应范围广，从赤道到温带都有分布，北界为北纬 51° ，南界为南纬 47° ，其垂直分布可从沿海平原到高山雪域海拔3000~4000m的地区，但绝大部分竹种生长要求温暖湿润的气候条件，多分布在南北回归线之间的热带、亚热带季风气候区的平原丘陵地带(鹏彪和宋建英，2004)。

1.1.1 世界竹类资源

全世界竹类植物有 70 多属 1200 多种, 主要分布在热带、亚热带地区, 少数种生长在温带和寒带。从世界范围看, 竹子地理分布主要划分为三大区域: 亚太竹区、美洲竹区和非洲竹区。亚太竹区是世界最大的竹区, 南至南纬 42° 的新西兰, 北至北纬 51° 的库页岛中部, 东至太平洋诸岛, 西至印度洋西南部, 本区竹子 50 多属 900 多种, 既有丛生竹, 又有散生竹, 前者约占 $3/5$, 后者约占 $2/5$, 其中有经济价值的有 100 多种, 主要产竹国家有中国、印度、缅甸、泰国、孟加拉国、柬埔寨、越南、日本、印度尼西亚、马来西亚、菲律宾、韩国、斯里兰卡等。美洲竹区南至南纬 47° 的阿根廷南部, 北至北纬 40° 的美国东部, 共有 18 属 270 多种, 美洲竹类植物中, 青篱竹属为散生型, 其余 17 属均为丛生型, 在北美, 除大青篱竹及其两个亚种外, 没有乡土竹种, 本区主要产竹国包括墨西哥、危地马拉、哥斯达黎加、尼加拉瓜、洪都拉斯、哥伦比亚、委内瑞拉和巴西。非洲竹区竹子分布范围较小, 南起南纬 22° 莫桑比克南部, 北至北纬 16° 苏丹东部, 在这一范围内, 由非洲西海岸的塞内加尔南部、几内亚、利比亚、科特迪瓦南部、加纳南部、尼日利亚、喀麦隆、卢旺达、布隆迪、加蓬、刚果、扎伊尔、乌干达、肯尼亚、坦桑尼亚、马拉维、莫桑比克, 直到东海岸的马达加斯加岛, 形成从西北到东南横跨非洲热带雨林和常绿落叶混交林的斜长地带, 这是非洲竹子分布的中心(熊文愈, 1983; 江泽慧, 2002b)。欧洲没有天然分布的竹种, 北美原产竹子也只有几种, 近百年来, 英、法、德、意、比、荷等欧洲国家和美国、加拿大等从亚洲、非洲、拉丁美洲的一些产竹国家引种了大量的竹种。据统计, 全球的竹林面积约 2200 万 hm^2 , 年产竹材近 2000t, 但目前这些竹林中的大部分还处于野生状态, 人工经营程度差, 产量较低, 有待进一步开发(熊文愈, 1983; 江泽慧, 2002b)。

1.1.2 中国竹类资源

中国是世界竹子分布中心区域之一, 是世界上竹类资源最为丰富、竹林面积最大、产量最高、栽培历史最悠久的国家。我国现有竹类植物 40 属 500 余种, 主要分布在热带、亚热带和南温带海拔 3000m 以下的山地、丘陵和平原, 竹林总面积 484.26 万 hm^2 , 加上高山竹种面积, 可达 700 万 hm^2 以上, 占世界竹林面积的 $1/3$, 竹材蓄积量和年产量均占世界的 $1/3$, 素有“竹类王国”之称(辉朝茂等, 1996)。

中国竹类植物中, 散生竹和丛生竹大约各占一半。由于丛生竹出笋一般较迟, 七、八月出笋, 严冬来临之际幼竹尚未充分木质化或还在生长, 抗寒性较差, 所以主要分布于我国南方诸省, 到北纬 30° 以北, 丛生竹已属罕见。散生竹和混生竹, 由于对寒冷和干旱等不良环境有较强的抗性, 适应性广, 分布范围也就比丛

生竹更广，从南方的广东、广西，到北方的河南、山东都有自然分布或引种栽培。高山竹种如箭竹属、玉山竹属、箬竹属等，要求特殊的环境条件，只在高山或深山区生长。

由于各地气候和土壤等条件的差异，我国的竹类资源大致可分为5个区(辉朝茂等, 1996): 北方散生竹区、江南混合竹区、南方丛生竹区、琼滇攀缘竹区和西南高山竹区。

1. 北方散生竹区

本区包括甘肃东南部、四川北部、陕西南部、河南、湖北、安徽、江苏及山东南部 and 河北西南部等地区，相当于北纬 $30^{\circ}\sim 37^{\circ}$ 。竹林以散生竹为主，亦有混生竹林。长江流域的竹子种类较多，主要是刚竹属、大明竹属、短穗竹属等竹类。

2. 江南混合竹区

本区包括四川东南部、湖南、江西、浙江及福建西北部，相当于北纬 $25^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，年平均温度 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，具有散生竹和丛生竹混合分布的特点，既有刚竹属、箬竹属、苦竹属等散生竹类，又有籼竹属、慈竹属等丛生竹类。该区是我国人工竹林面积最大、竹材产量最高的地区，尤其以毛竹为甚，是我国毛竹分布的中心地区，竹产业发达。

3. 南方丛生竹区

本区是我国丛生竹集中分布的地区，本区山地也有散生、混生型竹种分布。根据竹种组成和生境的不同可分为两个亚区：一是华南亚区，包括台湾、福建沿海、广东南岭以南及广西东南部，处于亚热带季风常绿阔叶林地帯和热带季雨林、雨林区，该亚区以籼竹属竹类最多；二是西南亚区，包括广西西部、贵州南部、云南大部，该亚区的竹类有牡竹属、巨竹属、空竹属、泰竹属等丛生竹型，其中以牡竹属为多，是该属的地理分布中心。

4. 琼滇攀缘竹区

琼滇攀缘竹区包括海南岛中南部、云南南部和西部边缘，以及西藏南部边缘地带，本区竹类的主要特点是具有多种攀缘型丛生竹类，如梨藤竹属、藤竹属、籼竹属等。

5. 西南高山竹区

本区主要包括地处横断山的西藏东南部、云南西北部和东北部、四川西部和南部。该区主要以箭竹属和玉山竹属等合轴散生高山竹类为主，一般分布在海拔 $1500\sim 3800\text{m}$ 或更高地带。

1.1.3 丛生竹资源

世界上丛生竹包括40个以上属的竹类，其种类占世界总数的70%以上，主要集中分布于东南亚、南亚各国，拉美热带地区和非洲中南部及太平洋岛国，分布

范围十分广泛(马乃训, 2004)。

我国合轴丛生竹有 16 属 160 余种, 80 余万 hm^2 (马乃训, 2004), 分布范围北起温州至福建的戴云山以东、两广的南岭以南到云南、四川西南部和西藏南部, 大体上在 1 月均 4°C 等温线以南的地区, 分布区域约占整个竹林分布区的 1/3。主要分布于北亚热带、南亚热带的两广、福建南部、四川西南部、云南南部、台湾等地; 在北纬 $25^\circ \sim 30^\circ$ 的贵州、湖南、江西、云南北部、浙江南部、福建西北部等地区, 也有与散生竹一起成点面混合状分布。

云南省是我国丛生竹资源最为丰富的省区。16 个丛生竹属在云南自然分布的有 13 个竹属, 其中有 5 个竹属只在云南省有分布 [巨竹属 (*Gigantochloa*)、贡山竹属 (*Gaoligongshania*)、空竹属 (*Cephalostachyum*)、香竹属 (*Chimonocalamus*)、泰竹属 (*Thyrsostachys*)]。牡竹属 (*Dendrocalamus*) 除少数经济价值较大的栽培种如麻竹 (*D. latiflours*)、吊丝竹 (*D. minor*) 等外, 绝大多数分布在云南。云南省南北长不过 500km, 东西宽不过 700km, 相对于广阔的地球陆地, 在这么一个狭小的区域内分布了如此高度密集的古老原始竹属, 因而云南理应是世界竹类的起源中心。

丛生竹因其具有秆形高大, 生物量高; 成丛生长, 生长迅速; 根茎系统发达, 生态功能突出; 繁殖容易, 育苗方式灵活等特点(陈其兵等, 2002; 陈宝昆等, 2007), 在木材加工和食品利用等方面受到越来越多的关注, 尤其是丛生竹纸浆林的培育得到了快速发展。近 20 年来, 随着我国现代化林业建设和国家环保项目的实施, 丛生竹类资源在我国林业资源中所占的地位日益重要。当前, 绿竹 (*Dendrocalamopsis oldhami*) (陈余钊等, 2003; 陈双林等, 2008; 高贵宾等, 2009)、撑绿杂交竹 (*Bambusa pervariabilis* \times *Dendrocalamopsis daii*) (庾晓红等, 2005; 杨芹, 2007; 武文定等, 2008)、慈竹 (*Neosinocalamus affinis*) (齐新民和吴炳生, 1999; 王琼等, 2005; 段春香等, 2008; 曹小军等, 2009; 涂利华等, 2010) 等丛生竹的生物学特性及经营管理技术已经进行了较为系统的研究, 丛生竹的经济效益得到了快速提高。

1.2 国内外竹类资源开发利用现状及发展趋势

1.2.1 国内外竹类资源开发利用现状

很早以来, 竹产区国家的人民就用竹子建造房屋, 制作生产、生活及娱乐用具, 食用竹笋, 靠竹林避风、遮阳、改善居住环境等, 人们的衣食住行等各方面都与竹子密切相关(王慷林, 1994; 朱石麟和李卫东, 1994; 竹林, 2003; 谢贻发, 2004)。随着社会的发展和科学技术的不断进步, 竹子的综合利用越来越受到人们的重视。