



植物纤维 绿色包装材料研究

STUDY ON GREEN PACKAGING MATERIALS
OF PLANT FIBER

肖生苓 李琛 © 著



科学出版社

植物纤维绿色包装材料研究

肖生苓 李 琛 著

国家林业公益性行业科研专项支持（项目编号：201304506）

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书论述了植物纤维的环保性和利用植物纤维研制绿色包装材料的可行性,分析了植物纤维包装材料国内外研究现状及存在的问题,对生物质保鲜包装材料、木质纤维缓冲包装材料、造型类纤维模塑包装材料和外装箱板4种包装材料的研究过程进行了详细介绍,阐述了4种包装材料研制中原料的选取与预处理方法、制备工艺方案的确定、技术参数的优化、性能指标的检测手段、实际应用与效果等。

本书内容翔实,以定量分析为手段,配以大量图表,直观易懂,所列实验数据均为第一手资料。每章后面均有参考文献,汇总了国内外相关的研究资料。

本书可作为相关专业人士的参考书,也可供包装工业技术人员、管理人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

植物纤维绿色包装材料研究/肖生苓,李琛著. —北京:科学出版社,2016.9
ISBN 978-7-03-050023-6

I. ①植… II. ①肖… ②李… III. ①植物纤维-包装材料-绿色包装-研究 IV. ①TB484.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第232489号

责任编辑:任锋娟 都 岚 龚亚妮 / 责任校对:王万红

责任印制:吕春珉 / 封面设计:艺和天下

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>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年9月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2016年9月第一次印刷 印张:20 1/2

字数:399 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈京华虎彩〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62135741

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

中国是制造大国，同时也是包装大国。包装工业具有比国民经济相对高的增长速度，为我国经济发展做出了不可忽视的贡献。国内消费品和出口商品的配套包装数量呈逐年上升趋势，各类包装材料需求巨大。包装材料的绿色发展、创新发展和循环发展是世界各国追求的共同目标和基本要求，是提高产品市场竞争力、避免新贸易壁垒的有效途径，是包装材料今后发展的必由之路。包装材料的绿色性主要体现在包装材料本身成分和所用原料的绿色性、包装材料及其产品使用的绿色性、包装材料及其产品回收处理的绿色性和包装材料加工过程的绿色性 4 个方面。作为包装大国，近年来我国正在着力实施包装材料绿色低碳战略，推进资源利用绿色循环计划，把开发资源再生产作为推动循环发展的重要任务，开拓包装材料绿色发展的道路，努力形成以节约、清洁、安全、低碳为主要特征的绿色包装材料产业体系，实现我国包装工业持续、健康发展。

植物纤维是自然界中第一大天然可降解的高分子材料，利用其开发可降解、可再生的绿色环保型包装材料引起了国内外科技工作者的广泛关注。由于植物纤维原料的广泛性、环境的友好性、成本的低廉性和市场潜力的无限性，在包装材料家族中有着不可比拟的发展优势和广阔空间。在国家林业公益性行业科研专项“绿色新型包装材料关键技术研究（项目编号：201304506）”的支持下，笔者带领研究团队开展了生物质保鲜包装材料、木质纤维缓冲包装材料、造型类纤维模塑包装材料 and 外包装箱板 4 种包装材料的系列研究，对 4 种包装材料的制备工艺、技术参数、性能指标、检测方法、实际应用等进行了全面研究，在理论和实践上取得了一定成果，写成了本书，希望本书能为我国绿色包装材料和绿色包装工业的发展起到一定作用。

本书第 1 章、第 2 章和第 5 章由东北林业大学肖生苓撰写，第 3 章和第 4 章由东北林业大学李琛撰写。肖生苓统稿并审定全书。另外，在项目研究和此书撰写的过程中，得到了黑龙江省木材科学研究所张长武研究员、东北林业大学岳金权副教授、东北林业大学研究生刘银鑫、孙建飞、姚培培、陈艳娜、王海莉等研究生，以及项目组全体同仁的大力支持和帮助，在此一并表达衷心的感谢。

限于时间和作者水平，书中不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

肖生苓

2016 年 5 月于哈尔滨

目 录

1 绪论	1
1.1 绿色包装材料的概念和分类	1
1.1.1 绿色包装材料的概念	2
1.1.2 绿色包装材料的分类	3
1.2 植物纤维绿色包装材料	3
1.2.1 植物纤维的环保性	4
1.2.2 植物纤维制作包装材料的可行性	5
1.2.3 植物纤维制作包装材料的种类	7
1.3 植物纤维包装材料国内外研究现状及存在的问题	10
1.3.1 关于植物纤维预处理及表面改性的研究	10
1.3.2 关于植物纤维模塑包装材料的研究	13
1.3.3 关于保鲜生物质包装材料的研究	17
1.3.4 关于植物纤维发泡缓冲包装材料的研究	19
1.3.5 关于植物纤维复合板类包装材料的研究	23
参考文献	26
2 二氧化氯缓释保鲜纸的研究	32
2.1 二氧化氯保鲜纸的研发	32
2.1.1 二氧化氯保鲜技术	32
2.1.2 二氧化氯缓释保鲜纸保鲜原理	32
2.1.3 利用木质剩余物制作二氧化氯缓释保鲜纸	33
2.2 二氧化氯缓释保鲜纸制备工艺及参数的研究	33
2.2.1 二氧化氯缓释保鲜纸制备工艺过程	33
2.2.2 A 纸基干燥温度、PVA 含量及储存环境参数的研究	36
2.2.3 二氧化氯缓释保鲜纸中酸含量的研究	43
2.2.4 二氧化氯缓释保鲜纸保鲜涂液配方的研究	47
2.3 二氧化氯缓释保鲜纸纸基物理参数的确定	63
2.3.1 二氧化氯缓释保鲜纸物理参数的选择与范围确定	63
2.3.2 实验设计	63
2.3.3 实验方法	64
2.3.4 亚氯酸钠留着率分析	65

2.3.5	二氧化氯释放规律分析	70
2.3.6	纸基各工艺参数选择	82
2.4	稳定剂和温度对亚氯酸钠留着率的影响	84
2.4.1	实验方法	85
2.4.2	结果与讨论	86
2.5	木质素含量和结构对亚氯酸钠留着率的影响	94
2.5.1	实验方法	95
2.5.2	结果与讨论	97
2.6	木质素结构对亚氯酸钠留着率影响机理探究	104
2.6.1	实验方法	104
2.6.2	结果与讨论	107
2.7	二氧化氯缓释保鲜纸保鲜效果研究	113
2.7.1	保鲜效果检测方法	113
2.7.2	实验材料及实验设计	114
2.7.3	结果与分析	114
	参考文献	117
3	木质纤维缓冲包装材料的研究	120
3.1	木质纤维缓冲包装材料的研发	120
3.2	材料组分单因素实验分析	120
3.2.1	主要组分特性	120
3.2.2	制备工艺的确定	126
3.2.3	材料制备工艺	129
3.2.4	主要组分对材料性能的影响	130
3.2.5	主要组分对泡孔形貌的影响	139
3.3	基于响应曲面分析法材料配方及工艺优化设计	150
3.3.1	材料组分实验方案优化设计	150
3.3.2	工艺参数的设计与优化	171
3.4	木质纤维发泡材料缓冲性能测试	180
3.4.1	基本物理特性测定方法	180
3.4.2	力学性能测试方法	182
3.4.3	缓冲特性测试	185
3.4.4	温湿度稳定性	188
3.4.5	吸湿性	190
3.4.6	静载堆码试验	192
3.4.7	振动传递特性试验	195
3.4.8	抗冲击特性试验	200

3.5 泡孔参数对木质纤维发泡材料力学性能的影响	201
3.5.1 实验方案	201
3.5.2 测量结果	202
3.5.3 孔隙率对材料应力-应变曲线的影响	202
3.5.4 孔隙率对材料能量吸收曲线的影响	203
3.5.5 孔隙率对缓冲系数-应力曲线的影响	204
3.5.6 孔隙率对材料 4 次压缩回弹性的影响	204
3.5.7 孔隙率对材料多次压缩的应力-应变曲线的影响	206
3.5.8 泡孔密度对材料孔隙率及回弹率的影响	207
3.5.9 孔径大小及分布对材料孔隙率及回弹率的影响	208
3.6 木质剩余物纤维多孔材料结构分析	211
3.6.1 测试仪器设备	211
3.6.2 SEM 断口形貌分析	211
3.6.3 FTIR 测试结果分析	215
3.6.4 XPS 测试结果分析	217
3.6.5 TGA 测试结果分析	222
参考文献	225
4 造型类纤维模塑包装材料的研究	227
4.1 原料及制备工艺	227
4.1.1 主要原料	228
4.1.2 纤维模塑包装材料制备工艺与技术	230
4.1.3 主要设备	234
4.2 纤维模塑包装材料力学性能研究	236
4.2.1 材料与设备	237
4.2.2 实验方法	237
4.2.3 结果与讨论	240
4.3 纤维模塑包装材料制备工艺优化	249
4.3.1 实验方法	249
4.3.2 结果与讨论	251
4.4 造型类纤维模塑包装材料力学性能指标体系的构建	262
4.4.1 造型类模塑包装材料力学性能指标体系构建的必要性	262
4.4.2 造型类模塑包装材料的力学特性要求	262
4.4.3 造型类模塑包装材料力学性能指标评价体系的构建	264
4.5 工业应用可行性验证	266
4.5.1 试验材料及方法	266
4.5.2 工业品包装要求结果	267

4.5.3 静态压缩试验结果.....	268
参考文献.....	269
5 外包装箱板材料的研究.....	272
5.1 包装箱用复合板结构设计研究.....	273
5.1.1 包装箱用复合板性能要求.....	273
5.1.2 材料的选取和处理.....	273
5.1.3 包装箱用复合板结构设计.....	279
5.2 包装箱用复合板的制备.....	279
5.2.1 实验材料与设备.....	279
5.2.2 实验方案.....	280
5.2.3 实验流程.....	284
5.2.4 性能测试.....	286
5.3 结果与分析.....	287
5.3.1 数据初步分析.....	288
5.3.2 多元线性回归分析.....	289
5.3.3 二次多项式逐步回归分析.....	294
5.3.4 制造工艺对包装箱用复合板性能的影响.....	297
5.3.5 密度与其他因子间交互效应对包装箱用复合板力学性能的影响.....	305
5.3.6 偶联剂增强复合板红外分析.....	310
5.4 验证实验.....	312
5.4.1 验证实验方案.....	312
5.4.2 性能测试.....	312
5.4.3 误差分析.....	313
5.4.4 可行性分析.....	315
参考文献.....	316

1 绪 论

材料的“生产—使用—废弃”过程，可以看成是将大量资源提取出来，又将大量的废弃物排放到自然环境中的循环过程，人类在创造社会文明的同时，也在不断地破坏人类赖以生存的环境空间。伴随着商品的繁荣和包装工业的迅速崛起，包装材料也正面临同样的问题。

据美国、日本和欧共体统计，包装废弃物约占城市所有废弃物体积的 25%、质量的 15%^[1]，且排放量以每年 10% 的速度增加。可以想象，这样一个惊人的数字，长此下去将会导致严重的环境污染和资源浪费。尤其是可以存在 200~400 年不降解的塑料包装废弃物带来的“白色污染”更是有目共睹，令人担忧。根据美国《包装》杂志的调查，包装给环境带来的污染仅次于水源污染、海洋湖泊污染和大气污染，处于第四位^[2]。包装材料的绿色发展、创新发展和循环发展是世界各国追求的共同目标和基本要求，是提高产品市场竞争力、避免新贸易壁垒的有效途径，是包装材料今后发展的必由之路。绿色包装材料是人类社会进入高度文明、世界经济进入高度发展的必然需要和必然产物。

我国改革开放以来，特别是加入 WTO 后，包装工业发展迅猛，总体产值从 2003 年的 2 806 亿元增长至 2013 年的 14 658 亿元，年复合增长率约 17.98%。包装工业具有比国民经济相对高的增长速度，包装行业近十年来的飞速发展，为我国经济增长做出了不可忽视的贡献。由于全球包装行业向亚洲转移，特别是向中国转移，预计未来 3 年~5 年我国包装工业总产值将加速增长，年增长率将达到 20%，继续保持世界第二大包装产品生产国的位置，甚至有望超越美国成为第一大包装产品生产国。随着低碳环保理念成为全世界的主旋律，很多领域都在践行着低碳环保，包装材料领域也是如此，越来越多的对环境有污染的包装材料正在逐渐淡出人们的生活，绿色包装材料成为包装行业的发展趋势和未来^[3]。作为包装大国，近年来，我国着力实施包装材料绿色、低碳战略，推进资源利用绿色循环计划，把研究开发资源再生产作为推动循环发展的重大任务和新的经济增长点^[4]，开拓包装材料绿色发展的道路，努力形成以节约、清洁、安全、低碳为主要特征的绿色包装材料产业体系，实现我国包装工业持续、健康发展，为我国经济建设和环境建设做出更大贡献。

1.1 绿色包装材料的概念和分类

包装材料对环境造成的污染主要表现在包装材料生产过程造成的污染、包装材料本身的非绿色性造成的污染、包装材料的废弃造成的污染^[5]。

1) 包装材料生产过程造成的污染。包装材料在其生产过程中,一部分原料经过加工形成包装材料,另一部分原料变成污染物排入环境,如排出的各种废气、废水、废渣、有害物质及不能回收利用的固体材料。

2) 包装材料本身的非绿色性造成的污染。包装材料(含辅料)自身化学性质变化会导致对被包装品或环境产生污染,如聚氯乙烯(PVC)热稳定性较差,在一定的温度下会分解析出氢和有毒物质氯,对内容物产生污染,这也是许多国家禁用PVC做食品包装材料的原因;而在燃烧时又产生氯化氢(HCl),导致酸雨产生,包装用的胶黏剂若是溶剂型的,也含有毒成分而产生公害;用做发泡剂生产各种缓冲泡沫塑料的氯氟烃(CFC),其化学物质则是破坏地球上空臭氧层的祸首,给人类带来巨大的灾难。

3) 包装材料的废弃造成的污染。包装产品80%左右成为包装废弃物,从全世界来看,包装废弃物所形成的固体垃圾在质量上约占城市固体垃圾总量的三分之一。包装材料的废弃不仅造成了对资源的巨大浪费,而且许多不能降解或回收利用的材料成为了最主要、最重要的环境污染物,尤其是一次性发泡塑料餐具和一次性塑料购物袋形成的“白色污染”对环境造成的公害最为严重。

包装材料是商品包装所有功能的载体,是构成商品包装使用价值的最基本要素,是形成商品包装的物质基础。因此,发展绿色包装首先要研发绿色包装材料,它是绿色包装最终得以实现的关键。

1.1.1 绿色包装材料的概念

绿色包装材料(green packaging material)一般具有节省资源和不污染环境两方面的含义。欧美科学家在20世纪90年代提出:绿色材料又称环境协调材料(environmental coordinate material, ECM)或生态材料(ecomaterial)^[6],是指那些具有良好使用性能,并对资源消耗少,对生态环境污染小,有利于人类健康,再生利用率高或可在自然界中自行降解,在制备、使用、废弃直至再生循环利用的整个过程中都与环境协调共存的材料。欧洲20世纪90年代强调对绿色包装进行回收,认为如果一种产品使用的包装材料在消费者废弃后,能通过完善的回收系统予以再利用或循环再生,在再生过程中不会对人体的健康与环境造成任何危险,则该材料均可视为绿色包装材料。

目前比较全面的看法是用生命周期理论解释,即绿色包装材料是指在制备、生产、使用、废弃以及回收处理再利用的整个生命周期过程中,对环境和人体不造成危害,能节约资源和能源,废弃后能迅速自然降解或储存利用,不会破坏生态平衡,而且来源广泛、耗能低、易回收、再生循环利用率高的材料或材料制品^[7]。

绿色包装材料的绿色性主要体现在包装材料本身成分和所用原料的绿色性、包装材料及其产品使用的绿色性、包装材料及其产品回收处理的绿色性和包装材料加工过程的绿色性4个方面。根据上述绿色包装材料的概念,从生命周期理论

出发,绿色包装材料除具备一般包装材料的共性外,还必须同时满足以下生态适应性和环境友好性的要求:

- 1) 包装材料的生产原料具有可再生性、可持续性。
- 2) 包装材料生产过程无污染,不排放有害废气、废水和废渣,具有三废处理措施。
- 3) 包装材料生产过程低能耗、低资源消耗和高效率。
- 4) 包装材料中不含有对人体、生物和环境有害的物质。
- 5) 包装材料使用后可循环利用或自然降解,不形成永久垃圾,不造成环境负载。

1.1.2 绿色包装材料的分类

按照环境保护要求及包装材料用毕后的归属,绿色包装材料大致可分为以下三大类:

- 1) 可回收处理再造材料。其包括纸张、纸板材料、纸浆模塑材料、金属材料、玻璃材料、通常的线型高分子材料(塑料、纤维),也包括可降解的高分子材料。
- 2) 可自然降解材料。其包括纸制品材料(纸张、纸板、纸浆模塑材料);可通过光降解、生物降解、热氧降解、光-氧降解、水降解、光-生物降解的各种材料及生物合成材料,如木材、秸秆、贝壳、天然纤维填充材料、生物及仿生材料等。
- 3) 可焚烧回收能量且不污染大气的材料。其包括部分不能回收处理再造的线型高分子、网状高分子材料和部分复合材料等。

包装材料的绿色性充分体现了人与自然的协调关系,要求包装材料与自然融为一体,取之于自然,又能回归自然。也就是说,它所用的原材料要来自于自然,通过无污染的加工工艺形成绿色包装产品,经使用后丢弃又可以回收处理,或回到自然,或循环再造,其整个过程构成真正的绿色循环。所以,本质上绿色包装材料涵盖了保护环境和资源再生两方面的含义。

1.2 植物纤维绿色包装材料

植物纤维来源于自然界中的植物,包括木材、禾本科类等植物。根据植物形态特征可分为木材纤维和非木材纤维两大类,而木材纤维又分为针叶材纤维和阔叶材纤维两种,非木材纤维有禾本科植物的秆、茎、壳、韧皮(麻类)等。由于我国森林资源缺乏,用于制造包装材料的木材纤维主要来自伐区生产和木材加工等的剩余物、抚育间伐的小径材以及速生工业原料林等。而我国农作物秸秆资源丰富,每年产量达数亿吨,用于制造包装材料的非木材纤维主要来源于农作物秸秆(水稻、小麦、玉米、高粱等)和稻壳。

1.2.1 植物纤维的环保性

在地球上，绿色植物利用太阳能进行光合作用，年复一年地繁衍生长，为人类提供廉价、环保而又取之不尽的可再生资源。在这些生物质资源中，天然植物纤维由于其组成和结构的优良性，是最佳的环境友好型原材料。

植物纤维原料的化学成分比较复杂，但主要由纤维素、半纤维素、木质素（均系高分子化合物）及少量其他成分组成^[8]。纤维素是植物纤维原料最主要的化学成分，是评价纤维材料的基本依据。纤维素分子是由基本结构单元 D-吡喃式葡萄糖基通过 1, 4-β-苷键构成的线状高分子化合物。纤维素分子链上的大量羟基可以形成氢键，从而在纤维交织成形时增加纤维间的结合强度。半纤维素也是一种长链的高分子碳水化合物，与纤维素分子由均一的葡萄糖基构成不同，它由一群复合聚糖基组成，更容易水解和降解。木质素是由愈创木酚基丙烷、紫丁香基丙烷、对羟基苯基丙烷等结构单元通过醚键、碳-碳键连接而成的网状芳香族高分子化合物，其分子结构十分复杂。植物纤维中还含有淀粉、果胶质、脂肪、树脂、蜡、香精油、灰分等少量成分。不同原料中少量成分的种类和比例也不一样，如灰分在禾草中含量很高，在木材中含量则较低。各类化学成分在植物纤维原料中的分布是不同的。表 1-1 是包装材料常用的植物纤维原材料化学组成^[9]。

表 1-1 包装材料常用的植物纤维原材料化学组成（%）

原料	纤维素	半纤维素	木质素	灰分	其他
红松	53.12	10.49	27.69	0.42	8.31
落叶松	52.55	11.27	27.44	0.36	8.38
杨木	43.24	23.50	17.10	0.32	15.84
桦木	53.43	21.2	23.91	0.82	0.64
稻草、稻秆	39.12	22.45	13.39	13.39	13.38
麦草、麦秆	40.44	25.56	6.04	5.66	5.66
毛竹	50.23	30.67	1.10	2.47	2.47

植物纤维原材料由细胞构成，一类是薄壁细胞，壁薄短小，不适合制浆；另一类是中空、细长、呈纺锤状、富有挠曲和柔韧性的厚壁细胞，它在植物体内起到机械支撑作用，在形成产品后使之具有良好的物理强度。厚壁细胞又被称为纤维。原料不同，纤维在植物体内占的比例差距较大，纤维形状及其结构组成也存在一定的差异。例如，针叶木纤维长度一般为 1.5~5.6 mm，平均为 3.5 mm，宽 0.05 mm 左右；稻草纤维平均长 0.92 mm，宽 0.008 mm，而苎麻纤维长 120~180 mm，宽为 0.02 mm。纤维比例越高，长宽比合适，薄壁细胞含量越低，其产品的机械

强度就越高。表 1-2 是各纤维原材料的纤维含量及形态^[9]。

表 1-2 各纤维原材料的纤维含量及形态

类别	原料	纤维含量/%	纤维形态		
			平均长度/mm	平均宽度/ μm	长宽比
针叶木	红松	98.2	3.62	9.7	67
	落叶松	98.5	3.41	44.4	77
阔叶木	山杨	76.7	0.86	17.4	50
	白皮桦	73.3	1.21	18.7	65
	桉树	82.4	0.68	16.8	43
禾草类	稻草、稻秆	46.0	0.92	8.1	114
	麦草、麦秆	62.1	1.32	12.9	102
竹类	毛竹	68.8	2.0	16.2	123

天然植物纤维材料的绿色性是从原料到加工,再到产品使用后,均不产生环境污染,并对人体健康无害。

1.2.2 植物纤维制作包装材料的可行性

我国每年产生大约 3 亿吨林业剩余物和 7 亿吨秸秆^[10],利用农林剩余物纤维原料开发绿色新型包装材料^[11, 12],已成为国内外科技工作者一个新的研究热点^[13-16]。与合成纤维相比,植物纤维具有来源广泛、价格低廉、可自然再生、可生物降解、密度低和较高的长径比、比表面积大等特点,而且在大部分情况下,其强度可以满足使用要求,对发展绿色包装材料有着巨大优势和广阔空间^[17]。

1) 产量丰富、成本低廉的农林剩余物资源急需高附加值利用。我国作为发展中的农业大国,是世界上粮食产量最大、秸秆资源最多的国家。就黑龙江省来说,2014 年全省秸秆资源总量(风干重,下同)6 500 万吨,其中,水稻秸秆资源量 2 400 万吨、玉米秸秆资源量 3 100 万吨、大豆秸秆资源量 510 万吨,三种主要农作物秸秆资源占全省秸秆总资源量的 92.5%^[18, 19]。随着种植结构调整和新型农业经营主体的成立,农作物布局呈现出集中连片趋势,秸秆资源分布也从种类和数量上日趋集中,黑龙江省南部和西部以玉米为主,北部以大豆为主,东部以水稻为主,集中的资源分布态势为秸秆的综合利用提供了有利条件。根据《黑龙江省秸秆综合利用规划》,全省组织实施了秸秆还田、秸秆饲料、秸秆能源化、秸秆工业化和秸秆基料化等 5 项秸秆综合利用重点工程建设,农作物秸秆利用比例有了提高,但高附加值、成体系的工业化利用几乎没有。根据第八次全国森林资源清查(2009~2013 年)结果^[20],全国森林总面积 2.08 亿公顷,森林蓄积 151.37 亿立方米;天然林面积 1.22 亿公顷,蓄积 122.96 亿立方米;人工林面积 0.69 亿公顷,蓄积 24.83 亿立

方米;灌木林地 5 365.34 万公顷,疏林地 482.22 万公顷,未成林造林地 1 132.63 万公顷,苗圃地 45.4 万公顷,迹地 709.61 万公顷,宜林地 4 403.54 万公顷,林业辅助用地 101.36 万公顷。可用作植物纤维的林业生物质资源主要有林业剩余物、灌木林等。根据 2015 年我国木材进口量及抚育间伐产量,每年可产生木质剩余物的量在 1 亿吨左右。根据有关部门不完全统计,全国木材制品抛弃物每年约 0.6 亿吨。就灌木林而言,多数灌木生长周期短,萌蘖力强,根据其生物学特性,必须在 3 年~5 年平茬复壮一次,才能保持其旺盛的生命力,发挥其生态效应,平均每年将产生 0.4 亿吨灌木。同时,我国还有不适宜农耕的宜林荒山荒地、盐碱地、沙地、矿山、油田复垦地等边际性土地近 2 亿公顷,据专家测算,每年可产生木质生物原料 1 亿吨左右。

2) 包装材料市场对绿色包装产品需求巨大。中国是制造大国,同时也是产品包装大国^[21, 22]。然而,目前我国塑料的年产量已近 1 亿吨,塑料垃圾越来越多,在这些塑料垃圾中,包装垃圾占总量 30%之多。用于外包装的箱板材料、内包装的缓冲材料和模塑材料,大量使用可发性聚乙烯(EPE)、聚苯乙烯泡沫(EPS)、聚丙烯(PP)等塑料材料,其废弃物不能自然降解和完全回收,给环境带来严重污染。聚苯乙烯 200~300 年不降解、不腐烂,焚烧污染大气,植物纤维制品却因能完全降解腐烂,回收后又可作为土壤肥料,其废弃物不对环境造成污染,同时生产过程中,也不对大气及环境造成污染,符合绿色生产、绿色使用、绿色回收的环境保护和可持续发展理念要求。许多工业发达国家通过立法限制使用塑料包装材料并禁止进口产品使用塑料包装材料,给我国的外贸出口带来严重影响。越来越多的对环境有污染的包装材料正在悄然退出人们的生活,并且逐渐被品质优良、性能良好、经济环保的绿色包装材料替代。

3) 推动我国绿色包装材料产业提档升级,为地方经济快速发展助力。目前我国包装企业仍然以中小企业为主,绝大多数还是用单向的线状经济模式组织生产,对资源和能源消耗比较大,不仅生产成本低,而且社会效益和环境效益差^[23]。包装材料的绿色发展、创新发展和循环发展是世界各国追求的共同目标和本质要求,是提高产品市场竞争力、避免新贸易壁垒的有效途径,是包装材料今后发展的必由之路。目前,我国还没有一条以农林业剩余物资源为原料的包装材料成套生产线,迫切需要发展我国绿色包装材料和包装设备产业,为现有包装材料产业更新换代、提档升级创造条件。

4) 开发秸秆利用途径,解决焚烧污染环境问题。环境污染与资源短缺、能源枯竭并列为人类社会发展的三大危机^[24]。伴随着我国经济的繁荣和工业化进程的加快,环境污染问题愈发突出和尖锐,而大量农业秸秆的焚烧对于频繁发生的雾霾天气无疑是雪上加霜。为此,政府和相关部门出台禁烧秸秆的规定,甚至在秋冬季节协调环保、公安、农业、交通、农垦等部门,安排责任人死看死守,严控秸秆焚烧现象。但这只是权宜之计,不能从根本上解决农民焚烧秸秆问题。随着

农民生活水平的提高,家用电器和煤气的日益普及,农民对柴草的需求量在逐年下降。如就地焚烧秸秆,则违反政府禁令;不烧秸秆又没有好的利用途径,腐烂在田间会影响下一年的耕种,实际上农民是处于两难境地。目前,我国秸秆用于畜牧业饲料的占 21%,用于还田、工业原料、食用菌基料等占 15%,在田间焚烧或腐烂变质等近 50%。秸秆焚烧不仅污染环境,浪费资源,而且已成为社会问题。秸秆资源的高效综合利用,可有效地保护环境,有效地解决经济增长与资源紧缺、环境污染之间的矛盾。

1.2.3 植物纤维制作包装材料的种类

经过近年来的开发与应用,包装材料市场出现了一批绿色环保的植物纤维类包装材料。按包装材料的用途分类,可分成植物纤维发泡缓冲包装材料、植物纤维模塑包装材料、植物纤维纸类包装材料、植物纤维复合板类包装材料、工业级植物纤维重载托盘包装制品等。

1.2.3.1 植物纤维发泡缓冲包装材料

植物纤维发泡缓冲包装材料是以林业木质剩余物和农业麦秸、稻草、玉米秸等作物秸秆为主要原料,利用发泡技术,制成泡孔均匀、比重小、抗冲击性能良好、能自然降解的包装材料,可以有效代替泡沫塑料的使用,并应用于家用电器、轻工、仪表等的防震、减震衬垫包装。主要有以下 3 种类型^[25]:

1) 淀粉基发泡材料。淀粉本身熔体强度低,且易于吸水,需要与其他植物纤维共混,对淀粉进行增韧和增强,以适应制备发泡材料的要求。同时,加入黏合剂提高淀粉基泡沫的强度、弯曲性能和耐水性。

2) 木粉发泡材料。以木粉为主体,淀粉与黏合剂并用,受热时淀粉颗粒糊化膨胀,嵌在黏合剂分子链间,与之发生紧密结合从而起到黏合作用。此种材料物理力学性能较好,适合于包装用片材与板材。

3) 天然纤维发泡材料。依据造纸湿部化学原理,对植物纤维进行制浆处理,纤维表面的羟基是植物纤维与胶黏剂间连接的纽带,浆料中由气泡内外压差而在材料内部形成空腔,通过对纤维和胶黏剂之间作用力的调整,实现对纤维取向的控制,使纤维间连接,并具有稳定的结构和优良的物理力学性能。

这 3 种新型材料都是当今生物质材料领域研究的前沿课题,新材料的研究尚处于实验室阶段,对于材料中各组分的内在表征、发泡过程控制机理等是亟须解决的难题,其研究具有重要意义。

发泡技术是植物纤维发泡缓冲材料的关键,在制订发泡方案时,应考虑环境的不利影响最小,制备工艺简单,使用的设备成熟可靠。在不同工况下根据发泡技术的温度、物料密度、压力、黏度、发泡率、物料流动性、泡孔尺寸及几何形状等因素计算参数,设计科学合理的工艺路线及配套技术。

植物纤维缓冲发泡制品的制作方法主要有两种：一步成型法和两步成型法。一步成型法的工艺特点是将制备好的纤维浆料通过专用模具熟化稳定，采用整体浇注发泡成型；两步成型法的工艺特点是将制备好的纤维浆料与一定比例的助剂混合，送入挤压机制成圆柱颗粒，在挤压过程中，原料受水蒸气等作用发泡，形成颗粒型发泡纸浆，再用发泡纸浆颗粒做原料，借助专用的金属模具加压加热成型。根据植物纤维发泡包装制品的缓冲性能特点，在制作体积大、质量大的产品包装衬垫时，应采用两步成型法工艺；在制作体积小、质量小的产品包装衬垫时，应采用一步成型法工艺。用一步成型法制作的包装缓冲衬垫，其特点是介于纸浆模塑产品和 EPS 发泡塑料制品之间，其模具的结构及加工要求比两步成型法的难度大。

纤维物料发泡材料成型所需的模具具有自身的特点，在专用模具的设计中，应对不同衬垫制品在不同的制作及使用条件下的各种因素进行充分考虑，对各种参数中的几何结构、脱模方法、传热梯度、制品的刚度与强度、物料流动性、制品的表面粗糙度、模具的装夹结构、材料的选用等进行研究探讨，以确定理想的参数。

1.2.3.2 植物纤维模塑包装材料

植物纤维模塑制品是用于包容和限制被包装物的固体容器，是近几年发展迅猛的新型包装材料，是实木包装材料的优良替代品，其产品应用领域可涵盖电子、机械零部件、工业仪表、电工工具、家电、电脑零件、玻璃、陶瓷制品、农产品等行业，如各类产品运输包装固形容器、一次性餐饮容器具（盒、碗、杯、盘、筷子、勺子等）、可控降解容器（快餐面碗、育苗杯、移栽盆、盆景盆等）等。就纤维模塑制品的功能而言，区别于传统的发泡塑料包装制品，它对包装对象的保护不来自于材料自身的缓冲功能，其结构直接影响包装功能的实现，良好的结构设计成为其完成保护内装物、在运输和搬运过程中提高减震能力的基本保证。而要实现纤维模塑制品的结构设计目标，作为制品材料的“模塑纤维材料”，必须具有足够的结合强度、成型刚性和稳定性。

过去的模塑纤维原料一般为各类废纸，其纤维构成以化学浆纤维为主，残余木质素含量低，纤维间依靠碳水化合物上游离羟基构成氢键结合，形成纤维模塑制品的基本强度。但是，由于废纸纤维中残余木质素少，中间制备环节多，虽然纤维柔软可塑，但自身刚性差、功能不完整，导致纤维模塑制品整体刚性和尺寸稳定性难以满足使用要求，因此只能在相对粗放和低端的包装领域应用，这是制约高品质模塑包装产品的关键问题。

1.2.3.3 植物纤维纸类包装材料

纸和纸板是一种古老的绿色包装材料，即使在现代，在工业产品包装中纸类

包装仍然占有非常重要的地位,特别在商品包装中,其使用量占有所有包装材料的40%以上。在环境保护已成为世界发展主题的今天,植物纤维纸类包装材料由于它的易回收利用、可自然风化分解等一系列绿色特性而越来越受到人们的重视,并不断有新的环保材料问世,成为绿色包装材料研究开发的热点。目前,具有良好开发应用前景的植物纤维纸类包装材料有以下几种:

1) 瓦楞纸板。瓦楞纸板具有加工性良好、成本低、使用温度范围比泡沫塑料宽、没有包装公害等优点。瓦楞纸板按照瓦楞的形状主要分为U、V、UV形;按照瓦楞层数的多少还可分为一层、双层、三层、五层、七层纸板(即三重瓦楞纸板)。这些多层瓦楞纸板具有容积大、体积小、质轻、强度高、缓冲性能良好、适于折叠、节省存储空间、搬运方便等特点,特别适合机械、机电等重型产品的运输包装。但瓦楞纸板耐潮湿性能差、强度受湿度影响大、复原性小等缺点对其使用条件有一定要求。

2) 蜂窝纸板。植物纤维蜂窝纸板是针对瓦楞纸板复原性小的缺点,将瓦楞纸板做成互相平行、垂直和交错的多层结构,使其形状如蜂窝,这样能大大提高其缓冲性能。蜂窝纸板在包装中主要用于蜂窝纸箱、缓冲衬垫等。

3) 功能性保鲜纸。保鲜纸是以牛皮纸或者其他包装用纸为基体,在制作纸浆的浆料中添加保鲜剂,或是在纸张的表面涂覆保鲜剂,利用保鲜剂特有的杀菌、吸附、氧化、催化等性能,控制保鲜目标的环境气氛,达到保鲜目的。或利用纸张本身的多孔和透气性,将植物纤维或者纸张浸渍保鲜液,利用纤维间缓慢释放的有效保鲜成分长时间保鲜。也可以将纸张和保鲜膜等其他保鲜材料共同使用,利用它们各有的特点达到保鲜效果。保鲜纸的种类主要有:中草药类保鲜包装纸、抗菌类保鲜纸、复合型保鲜纸、SO₂保鲜纸、CO₂保鲜纸等。

4) 其他功能性包装纸。在销售包装和运输包装中,以植物纤维为基材或基本原料的功能性包装纸大致可分为4类:保护功能包装纸(防潮、防变质、防氧化、防静电、防细菌、防光等)、除去功能包装纸(除味、除水、除杂质、除菌、隔音纸材)、承受功能包装纸(防火、耐油、耐酸、耐摩擦、抗冲击等纸材)和显示功能包装纸(显示温度、湿度、含水量等纸材)。

1.2.3.4 植物纤维复合板类包装材料

植物纤维复合板类包装材料主要是以林业木质剩余物、农业秸秆、稻壳等废弃物为主要原料,辅以不同类型的胶黏剂,热压复合而成。其工艺过程主要有:原料准备及预处理、铺装、预压、热压、静置平衡等。这种植物纤维复合板可替代实木包装材料,用于外包装箱、周转箱、集装箱板、集运托盘等。

影响植物纤维复合板类包装材料使用性能的关键技术包括:原料的预处理、材料的结构设计、材料的增强方法、最佳工艺参数的确定等。

由于复合板类包装材料所使用的原料都是农林生物质废弃物,其形态、尺寸、