

几种秸秆纤维的理化特性研究

李丽霞¹, 陈海涛², 纪文义², 周成³

(1. 昆明理工大学 现代农业工程学院, 云南 昆明 650500; 2. 东北农业大学 工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 3. 黑龙江省农垦科学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 为了综合利用秸秆并且提高秸秆的附加值, 通过采用 Leica 显微镜测定秸秆纤维形态, SPSS 17.0 统计分析纤维长宽比, Design-expert 6.0.10 区组对比分析秸秆、纤维间理化特性差异和秸秆纤维间抗张强度的差异, 对几种秸秆纤维的理化特性及机械打浆特性进行了研究。结果表明: 1) 大豆秸秆纤维粗大, 棉秆纤维细小, 茄秆和烟秆纤维介于二者之间; 0.25~0.50 mm 组分纤维长宽比最小, 因此在打浆前可采用筛分工艺, 利于纤维分支化, 大豆秸秆纤维和茄子秸秆纤维长宽比大, 更利于纤维帚化; 2) 经加工后的大豆秸秆纤维中半纤维素显著增加, 纤维素和木质素显著下降, 可以提高纸的强度, 降低纸的脆性, 因此适宜加工纸制产品; 3) 几种秸秆纤维叩解度与打浆时间呈乘幂数增加, 湿重与打浆时间呈二次多项式负相关; 生产中大豆秸秆和茄子秸秆可在 150 min 时测定叩解度, 烟秆和棉秆可在 250 min 时测定叩解度; 烟秆纤维抗张强度显著大于其他几种秸秆。

关键词: 秸秆; 纤维; 综合利用; 理化特性

中图分类号: TST12

文献标识码: A

DOI: 10.11861/j.issn.1000-9841.2014.05.0691

Study on the Physical and Chemical Properties of Several Straw Fiber

LI Li-xia¹, CHEN Hai-tao², JI Wen-yi², ZHOU Cheng³

(1. Faculty of Morden Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China; 2. Engineering College, Northeast Agricultural University, Harbin 150086, China; 3. Heilongjiang Academy of Land Reclamation Sciences, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to improve the additional value and the comprehensive utilization of straw. In this paper, physic-chemical properties and mechanical pulping characteristics of several kinds of straw fibers were studied. Straw fiber morphology was determined by Leica microscope, statistical analysis of the length, width and length to width ratio were studied by SPSS 17.0. The difference contrast with physic-chemical and tensile strength characteristic of straw fiber was analyzed by Design-expert 6.0.10. The results showed that 1) soybean straw fiber was thick, screening process should be used in the production. Length to width ratio of soybean straw and eggplant stalk fiber were larger, it was good for fiber fibrillation. 2) Strength of fiber could be improved by hemicellulose in papermaking, and the lignin increased the brittleness of the fiber, the hemicellulose of the soybean straw fiber after processing significantly increased, cellulose and lignin content decreased significantly after the process, therefore it was suitable for processing products. Tensile strength of tobacco stalk fiber was large, there were significant differences with several other kinds of straws, due to higher cellulose content of the fibers after processing. 3) The initial beating degree of straw pulp was low, beating degree increased into a power with beating time, the wet weight negatively correlated with beating time. Measure frequency of the beating degree could be reduced in production. Beating degree of soybean straw and eggplant stalk could be determined when the beating time was 150 min, tobacco stalk and cotton stalk could be measured at the beating time of 250 min.

Key words: Straw; Fiber; Comprehensive utilization; Physic-chemical properties

作为世界最大的粮食生产国, 我国农作物秸秆量居世界首位^[1]。但由于长期以来秸秆资源利用较简单, 秸秆闲置、直接燃烧和秸秆还田, 引起了越来越严重的环境和社会问题^[2-5]。

秸秆类纤维提取的方法主要有酸、碱、酶和汽爆等技术^[6-9]。但是这些方法存在纤维成分利用单一、资源浪费或成本高等问题。另外, 纤维材料的特性很大程度上决定了产品的特性及加工工艺, 虽然同属植物纤维, 但由于生长过程及环境差异较大^[10], 纤维形态、化学成分及相应的表面特性都有差异。因此, 对各类秸秆的理化特性分别研究具有

重要意义。目前稻草秸秆、棉花秸秆和玫瑰茄秆制浆造纸性能研究较多, 但大多数都是采用化学方法提取纤维, 引起二次污染等环境问题制约了工业化发展。本文研究采用物理方法清洁制取的几种秸秆纤维的物理、化学及机械打浆特性, 旨在为农业秸秆废弃物的转化和综合利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

2010年收获的大豆秸秆、棉秆、茄秆和烟秆, 粉

收稿日期: 2013-11-16

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划(2012BAD32B02); 云南省省级人培项目(14118644)。

第一作者简介: 李丽霞(1983-), 女, 博士, 讲师, 主要从事生物质转化与利用工程研究。E-mail: lilixia_2002@126.com。

碎后浸泡 12 h (含水率分别为 81.4%、76.72%、75.89% 和 83.52%),应用东北农业大学自制秸秆纤维制取试验台清洁制取各种秸秆纤维原料。

1.2 秸秆物理形态测定

1.2.1 仪器设备 粉碎机(辽宁省东港市新农镇振兴机械厂),秸秆纤维制取机(东北农业大学自制),FB-1 型分析筛,feica 显微镜等。

1.2.2 试验样本制备 将各种秸秆粉碎至长度为 3 cm,常温浸泡 12 h,经东北农业大学自制秸秆纤维制取试验台加工制得纤维原料,随机选取秸秆纤维 100 g,采用 0.10,0.25,0.50,1.00,2.00 mm 的分析筛将原料筛分为 0.10~0.25 mm、0.25~0.50 mm、0.50~1.00 mm、1.00~2.00 mm 和 >2.00 mm 五个组分,每个样本筛分时间为 20 min。

1.2.3 测定项目与方法 分别随机选取不同组分的纤维样本,采用 Leica Qwin plus 软件(测量单位为 μm),选定 5 倍的物镜,调节目镜至观测最清晰状态,对于小于 1 mm 的样本照像、检测、特性测量,直接测量出纤维的长度、宽度及长宽比。每个组分随机拍照 50 张,取 50 个样本的平均值。

对于大于 1.00 mm 的样本,依据“造纸纤维长度测定法”(GB10336-1989),选取长宽比作为纤维评价指标^[11]。经 SPSS17.0 统计分析各组分即可得出各组分纤维的长度、宽度及长宽比。

1.3 秸秆纤维的化学成分

1.3.1 试剂及仪器 试剂:硅藻土、亚硫酸钠、正辛醇中性洗涤溶液(NDS)、酸性洗涤溶液(ADS)和 72% 硫酸。

仪器与设备:Fibertec 2010 & M6 纤维分析系统,电子分析天平(精确到 0.1 mg)、电热恒温烘箱、植物粉碎机、马弗炉、容量瓶、烧杯。

1.3.2 试验方法 分别取大豆秸秆和清洁制取的大豆秸秆纤维,用植物微型粉碎机粉碎制成试样。每种试样取 1 个空白作对照,测量化学成分。在马

弗炉(525 ± 10) $^{\circ}\text{C}$ 时进行灰化试验^[12],每组试验重复 5 次。

试验使用福斯中国有限公司生产的 Fibertec 2010 & M6 系统进行纤维化学成分分析,采用 Design-expert 6.0.10 分析各种秸秆和机械加工制取的纤维成分的差异。

1.4 秸秆纤维的机械打浆特性

1.4.1 仪器 实验室打浆机(中通试验装备有限公司)、ZJG-100 型纸浆打浆度测试仪、ZCX-A 型纸页成型器(长春市月明小型试验有限责任公司)、万能试验机(济南德瑞克仪器有限公司)、电子秤等。

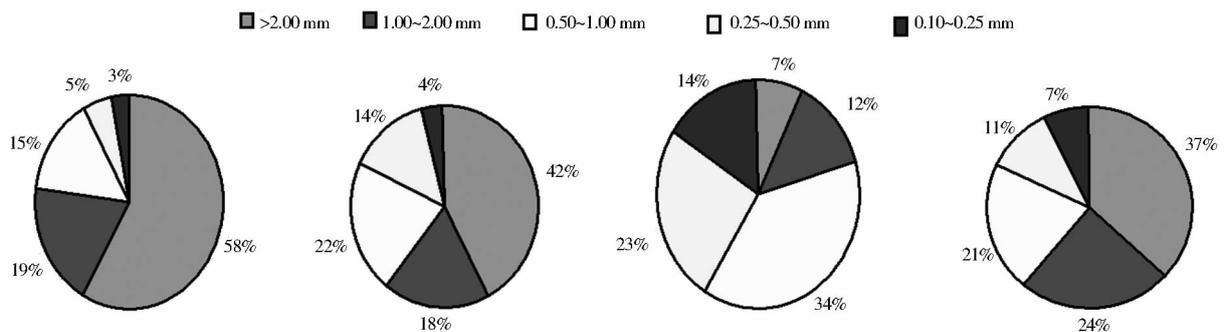
1.4.2 试验方法 采用国标(GB/T 453-1989)将清洁制取的纤维打浆,每隔 10 min 测定浆料的叩解度、湿重,以及散点拟合打浆指标随时间变化规律。将秸秆纤维浆料抄造制成定量为 $50 \sim 90 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 的试样,测定抗张强度,取平均值为秸秆纤维的抗张强度^[1]。

2 结果与分析

2.1 秸秆物理形态分析

2.1.1 各组分纤维分布及纤维形态 经纤维制取机加工制得秸秆各组分纤维分布情况如图 1 所示。各秸秆纤维分布显著性分析见表 1。

由图 1 可见,豆秆纤维 >2.00 mm 的重量占纤维总量比例最大,表明纤维粗大;棉秆 0.50~1.00 mm 组分的纤维重量所占比例最大,表明纤维细小。茄秆纤维和烟秆纤维 0.50~1.00 mm 组分及以下组分所占比例总和基本相同,介于豆秆纤维和棉秆纤维之间。由表 1 可知,1.00~2.00 mm 和 0.10~0.25 mm 大豆秸秆和茄秆纤维所占比例不显著外,其他秸秆纤维所占比例显著,说明秸秆种类导致纤维形态的差异,对秸秆纤维的应用提供指导依据。由图 2 各组分纤维形态可以看出秸秆纤维分支化无明显差异。



A: 大豆纤维; B: 茄秆纤维; C: 棉秆纤维; D: 烟秆纤维。

A: Soybean stalk fiber; B: Eggplant stalk fiber; C: Cotton stalk fiber; D: Tobacco stalk fiber.

图 1 各组分纤维分布

Fig. 1 Distribution of fiber components

表 1 各组分纤维分布显著性分析

Table 1 Significance analysis of fiber components

	>2.00 mm	1.00 ~ 2.00 mm	0.50 ~ 1.00 mm	0.25 ~ 0.50 mm	0.10 ~ 0.25 mm
A vs B	<0.0001	0.2555	<0.0001	<0.0001	1.0000
A vs C	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
A vs D	<0.0001	0.0003	0.0003	<0.0001	0.0063
B vs C	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
B vs D	<0.0001	<0.0001	0.0400	0.0400	0.0063
C vs D	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

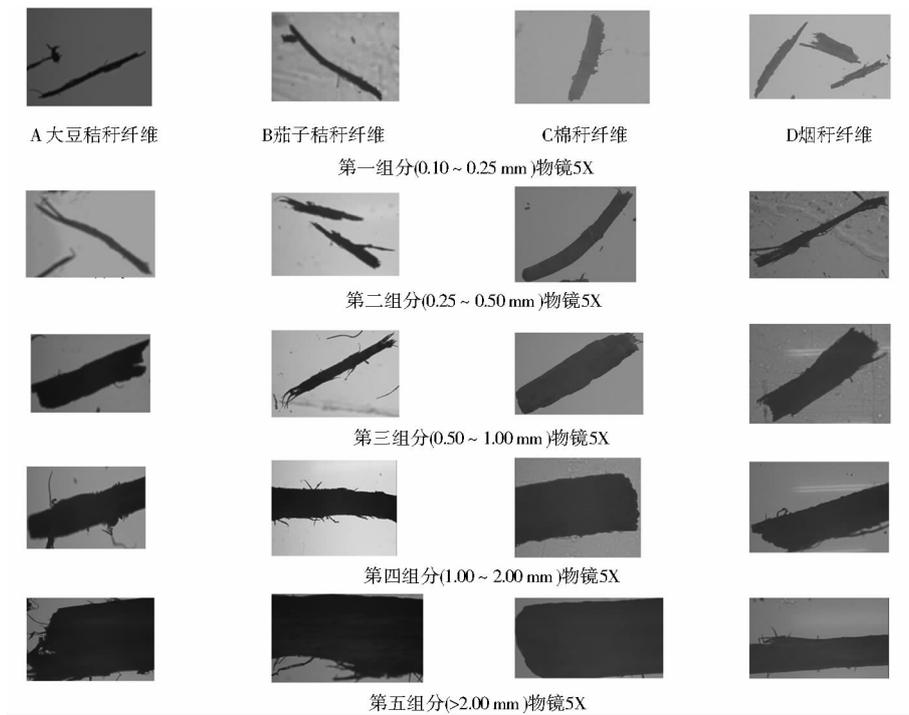


图 2 各组分纤维形态

Fig. 2 Morphology of stalk fiber components

2.1.2 纤维长宽比 由表 2 可见,各组分纤维长宽比出现拐点,0.25 ~ 0.50 mm 组分纤维长宽比最小。纤维长宽比不同,打浆容易出现粗大纤维未帚化完

全而细小纤维已经随着打浆过度而损失,因此采用纤维筛分法分别进行打浆,利于纤维分支化。

表 2 几种秸秆纤维长宽比

Table 2 Several kinds of straw fiber aspect ratio

项目 Item		0.10 ~	0.25 ~	0.50 ~	1.00 ~	>2.00 mm	样本 Sample
		0.25 mm	0.50 mm	1.00 mm	2.00 mm		
大豆秸秆纤维 Soybean stalk fiber	长度 Length/ μm	1982	2624	4160	16452	24777	17552
	宽度 Width/ μm	482	626	1033	1692	2364	1887
	长宽比 Length to width ratio	10.20	8.48	21.75	21.78	19.59	16.97
茄秆纤维 Eggplant stalk fiber	长度 Length/ μm	2300	2514	10002	13277	14727	11552
	宽度 Width/ μm	387	379	615	1679	1793	1338
	长宽比 Length to width ratio	12.87	11.99	28.88	21.43	20.92	19.54
棉秆纤维 Cotton stalk fiber	长度 Length/ μm	1961	2669	5710	14452	17003	11777
	宽度 Width/ μm	489	859	1402	2250	2829	2317
	长宽比 Length to width ratio	8.13	6.85	12.72	10.05	9.24	8.59

续表 2

项目 Item	0.10 ~	0.25 ~	0.50 ~	1.00 ~	>2.00 mm	样本 Sample	
	0.25 mm	0.50 mm	1.00 mm	2.00 mm			
烟秆纤维 Tobacco stalk fiber	长度 Length/ μm	1870	2592	3358	12777	17278	13778
	宽度 Width/ μm	466	970	1046	1510	2496	1966
	长宽比 Length to width ratio	9.20	7.23	8.36	17.44	14.48	13.55

经表 3 方差分析大豆秸秆与茄秆纤维长宽比较 比大利于纤维分支帚化,因此,大豆和茄子秸秆纤维性能更优。
大,二者间差异不显著,显著大于烟秆、棉秆。长宽

表 3 几种秸秆长宽比分析

Table 3 Significance analysis of fiber aspect ratio

	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	Prob > F
回归 Regression	151.18	3	50.39	0.0019
误差 Error	5.03	4	1.26	
总和 Total	156.21	7		
	均差 Mean difference	df	标准差 Standard error	Prob > t
A vs B	-1.95	1	1.12	0.1570
A vs C	9.37	1	1.12	0.011
A vs D	4.27	1	1.12	0.0190
B vs C	11.32	1	1.12	0.0005
B vs D	6.22	1	1.12	0.0052
C vs D	-5.10	1	1.12	0.0104

2.2 几种秸秆纤维的化学成分分析

由表 4 和表 5 可知,经加工后的大豆秸秆纤维,其半纤维素显著增加,纤维素,木质素显著下降;茄子秸秆纤维中半纤维素含量和木质素含量显著增加,纤维素差异不显著;烟秆纤维中纤维素、半纤维

素含量和木质素含量差异极显著增加;棉秆及棉秆纤维中纤维素变化不显著,半纤维素极显著下降、木质素极显著增加。其中大豆秸秆纤维中木质素含量最低,烟秆纤维中纤维素含量较高。

表 4 几种秸秆原料和纤维的化学成分

Table 4 Chemical composition of straw materials and straw fibers (%)

	半纤维 Hemi-cellulose	纤维素 Cellulose	木质素 Lignin	其他 Others
棉秆 Cotton stalk	14.24	46.61	10.68	28.47
烟秆 Tobacco stalk	16.04	37.62	9.99	36.35
茄秆 Eggplant stalk	11.03	34.31	10.69	43.97
豆秆 Soybean stalk	12.70	48.70	15.65	22.95
棉秆纤维 Cotton stalk fiber	12.56	37.76	16.55	33.92
烟秆纤维 Tobacco stalk fiber	19.28	47.24	12.51	20.46
茄秆纤维 Eggplant stalk fiber	18.55	36.2	17.49	24.15
豆秆纤维 Soybean stalk fiber	17.92	41.15	12.43	28.04

表 5 秸秆及秸秆纤维成分差异显著性分析

Table 5 Significances analysis of straw and straw fiber content

成分 Component	处理 Treatment	均方差 Mean difference	自由度 df	标准差 Standard error	Prob > t
半纤维素 Hemi-cellulose	A vs AF	-0.048	1	7.709E ⁻⁰⁰³	0.0008
纤维素 Cellulose	A vs AF	0.072	1	9.405E ⁻⁰⁰³	0.0003
木质素 Lignin	A vs AF	0.033	1	5.493E ⁻⁰⁰³	0.0009

续表 5

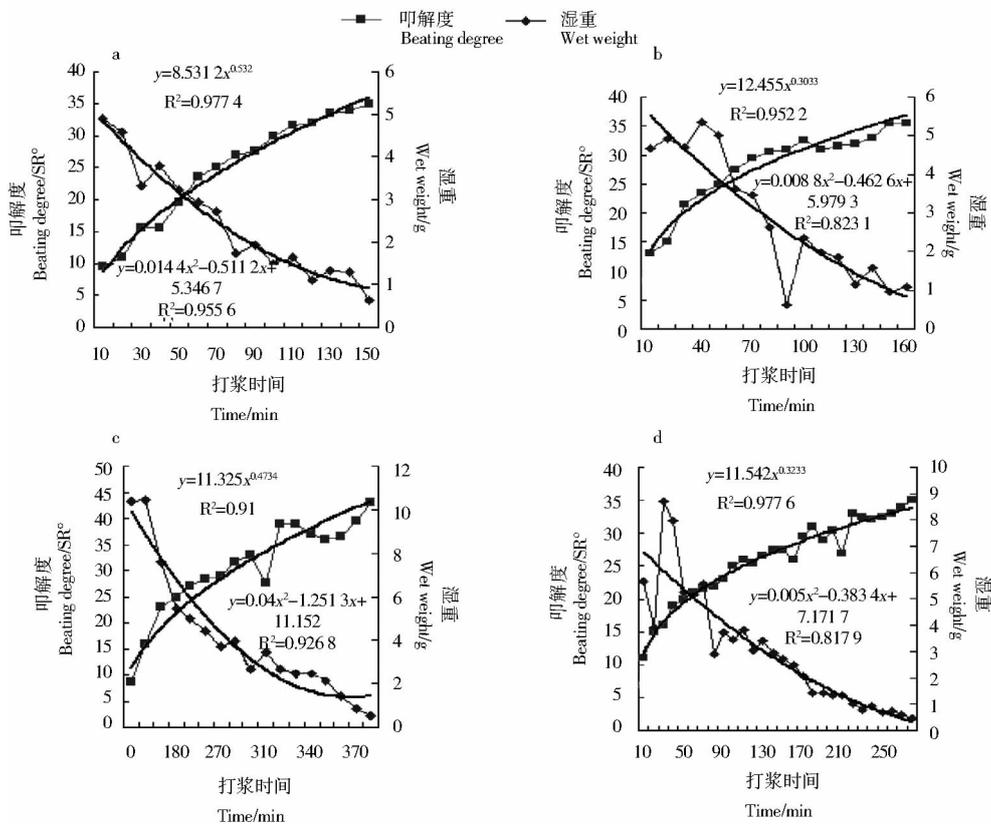
成分 Component	处理 Treatment	均方差 Mean difference	自由度 df	标准差 Standard error	Prob > t
半纤维素 Hemi-cellulose	B vs BF	-0.074	1	5.846E ⁻⁰⁰³	<0.0001
纤维素 Cellulose	B vs BF	-0.015	1	0.013	0.2845
木质素 Lignin	B vs BF	-0.064	1	0.011	0.0009
半纤维素 Hemi-cellulose	C vs CF	0.019	1	0.010	0.1039
纤维素 Cellulose	C vs CF	0.085	1	0.018	0.0028
木质素 Lignin	C vs CF	-0.058	1	9.236E ⁻⁰⁰³	0.0008
木质素 Lignin	D vs DF	-0.025	1	2.705E ⁻⁰⁰³	0.0001

A = Soybean stalk; AF = Soybean stalk fiber; B = Eggplant stalk; BF = Eggplant stalk fiber; C = Cotton stalk; CF = Cotton stalk fiber; D = Tobacco stalk; DF = Tobacco stalk fiber.

2.3 几种秸秆纤维的机械打浆特性分析

2.3.1 秸秆纤维叩解度与湿重 叩解度是指纤维被切断、分裂、润胀和水化等磨浆作用的效果,是预知将来生产纸张的机械强度、紧度和可整理性等。随打浆时间增加,叩解度增加,湿重减少。由图 3 可知,大豆秸秆纤维、茄子秸秆纤维、棉秆纤维和烟秆纤维叩解度与打浆时间均呈乘幂数增加,湿重与打

浆时间均呈二次多项式负相关。其中,大豆秸秆初始叩解度与烟秆、棉秆相当。根据叩解度与湿重随时间打浆规律曲线可以监控生产,减少叩解度的测定次数。叩解度为 35°SR 时,大豆秸秆和茄子秸秆打浆时间为 150 min,烟秆和棉秆打浆时间 250 min,因此,大豆秸秆和茄子秸秆打浆时间较短,消耗能量较少。



a:大豆纤维;b:茄子纤维;c:棉秆纤维;d:烟秆纤维。
a:Soybean fiber;b:Eggplant fiber;c:Cotton fiber;d:Tobacco fiber.

图 3 纤维打浆指标随时间变化规律

Fig. 3 Fiber beating variation rule with time

2.3.2 秸秆纤维抗张强度 几种秸秆纤维抗张强度的差异显著性如表 6 所示,大豆秸秆纤维的抗张

强度与茄子秸秆、棉秆无显著差异,均显著小于烟秆的抗张强度。因此,烟秆纤维强度较好。

表 6 秸秆纤维抗张强度显著性分析
Table 6 Significant differences analysis
of straw fiber strength

	平方和 Sum of square	自由度 df	均方 Mean square	Prob > F
回归 Regression	584.83	3	194.94	<0.0001
误差 Error	43.03	16	2.69	
总和 Total	627.86	19		
A vs B	0.049	1	1.04	0.9632
A vs C	-0.33	1	1.04	0.7551
A vs D	-12.58	1	1.04	<0.0001
B vs C	-0.38	1	1.04	0.7205
B vs D	-12.63	1	1.04	<0.0001
C vs D	-12.25	11.04	1.04	<0.0001

3 结 论

大豆秸秆纤维粗大,在生产工艺中应该采用筛分工艺。大豆秸秆纤维和茄子秸秆纤维长宽比大,更利于纤维帚化。本研究中棉秆纤维样本长度、宽度和长宽比分别是11 000 μm 、2 317 μm 、8.59;而据资料介绍,全棉秆的纤维长度、宽度及长宽比分别是1 090 μm 、18.6 μm 、59^[13],棉秆的长宽比的差异是由于品种、秸秆初始含水率和提取方法等所致。

造纸中半纤维素可以提高纸的强度,而木质素会增加纸的脆性^[14],经加工后的大豆秸秆纤维中半纤维素显著增加,纤维素和木质素显著下降;因此适宜加工纸制产品。烟秆纤维的抗张强度大,与其他几种秸秆有显著差异,原因是经加工的烟秆纤维中纤维素含量较高,为烟秆综合利用提供了新的途径。

秸秆初始叩解度低,叩解度与打浆时间成乘幂数增加,而湿重与打浆时间呈二次多项式负相关。叩解度为35°SR时,大豆秸秆和茄子秸秆打浆时间为150 min,烟秆和棉秆打浆时间250 min,因此,大豆秸秆和茄子秸秆打浆时间较短,消耗能量较少。

参考文献

[1] 韩永俊. 水稻秸秆制造植物纤维功能地膜工艺及其性能研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2011. (Han Y J. Study on techniques of rice straw fibers membrane production and its properties [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2011.)

[2] 金关荣,傅福道,王银华,等. 麻地膜、无纺布在设施园艺生产

上的应用效果初步研究[J]. 中国麻业科学,2006,28(6):322-326. (Jin G R, Fu F D, Wang Y H, et al. Application study of bast fiber mulch on non-woven on equipment horticultural production[J]. Plant Fiber Science in China, 2006, 28(6): 322-326.)

[3] 韩永俊,陈海涛,刘丽雪,等. 水稻秸秆纤维制取工艺参数优化[J]. 农业工程学报,2011,27(4):281-286. (Han Y J, Chen H T, Liu L X, et al. Optimization of technical parameters for preparing fiber from rice straw[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4): 281-286.)

[4] 万小春,张玉华,高新星,等. 农村有机生活垃圾和秸秆快速好氧发酵技术参数研究[J]. 农业工程学报,2008,24(4):214-217. (Wan X C, Zhang Y H, Gao X X. Optimization of aerobic fermentation parameters for rural organic living waste and stalk[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(4): 214-217.)

[5] 毕于运,高春雨,王亚静,等. 中国秸秆资源数量估算[J]. 农业工程学报,2009,25(12):211-217. (Bi Y Y, Gao C Y, Wang Y J, et al. Estimation of straw resources in China[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 211-217.)

[6] Sun X F, Xu F, Sun R C, et al. Characteristics of degraded cellulose obtained from steam-exploded wheat straw[J]. Carbohydrate Research, 2005, 340: 97-106.

[7] Moreno M M, Moreno A. Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop[J]. Scientia Horticulturae, 2008, 116: 256-263.

[8] Panthapulakkal S, Zereskian A, Sain M. Preparation and characterization of wheat straw fibers for reinforcing application in injection molded thermoplastic composites[J]. Bioresource Technology, 2006(97): 265-272.

[9] Chen X L, Yu J, Zhang Z B, et al. Study on structure and thermal stability properties of cellulose fibers from rice straw[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 85: 245-250.

[10] 宋孝周,郭康权,冯德君,等. 农作物秸秆特性及其重组材性能[J]. 农业工程学报,2009,25(7):180-184. (Song X Z, Guo K Q, Feng D J, et al. Characteristics of crop stalks and performance of their scimber[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(7): 180-184.)

[11] Li L X, Chen H T. Study on the physical and chemical and mechanical pulping characteristic of tobacco stalk fiber[C]. Advance Materials Research, 2013, 634-638: 1081-1085.

[12] 李丽霞. 大豆秸秆制造可降解地膜工艺及其性能研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2012. (Li L X. Study on technology and properties of soybean straw manufacturing degradable film[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2012.)

[13] 李群. 棉秆纤维原料特性及其化机浆生产工艺进展[J]. 天津造纸,2007(2):8-14. (Li Q. Characteristic of cotton stalk fiber and mechanical pulp production progress[J]. Tianjin Paper Making, 2007(2): 8-14.)

[14] 刘洪凤,俞镇愷. 秸秆纤维性能[J]. 东华大学学报,2002,28(2):123-128. (Liu H F, Yu Z H. Properties of straw fiber[J]. Journal of Donghua University, 2002, 28(2): 123-128.)