

牛角瓜微波开果提纤设备不同收集区域的提纤质量分析

王燕斌¹ 李毓陵¹ 马颜雪¹ 崔运花¹ 丁亦¹ 薛文良¹
王克毅¹ 许建初² 钟健² 陈鹏³

1. 东华大学 纺织学院(中国)
2. 中国科学院昆明植物研究所 山地未来研究中心(中国)
3. 宜兴市中长色织有限公司(中国)

摘要: 针对阻碍牛角瓜纤维规模化应用的纤维提纤技术,自主研发了一种牛角瓜微波开果提纤设备,通过对该设备不同收集区域得到的牛角瓜纤维的长度、细度、强度、中空度和含杂率等质量指标进行的检测与对比,分析了纤维收集区域对提纤效率和提纤质量的影响,为微波开果提纤设备的进一步改进和工艺优化指明了方向。

关键词: 牛角瓜纤维; 提纤设备; 收集区域; 质量; 中空度

Quality analysis of calotropis gigantea fiber extraction in different collection areas of microwave open-fruit fiber extraction equipment

Wang Yanbin¹, Li Yuling¹, Ma Yanxue¹, Cui Yunhua¹, Ding Yi¹, Xue Wenliang¹,
Wang Keyi¹, Xu Jianchu², Zhong Jian², Chen Peng³

1. Textile College, Donghua University, Shanghai/China
2. Center for Mountain Future Research, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming/China
3. Yixing Zhongchang Yarn-dyed Fabric Co. Ltd., Wuxi/China

Abstract: Aiming at the main factor that hinders the development of calotropis gigantea fiber – fiber lifting technology, our research group independently developed a kind of microwave open-fruit fiber lifting equipment for calotropis gigantea. The quality indexes such as length, fineness, strength, hollowness and impurity content of the fiber obtained from different collection areas of the equipment were tested and compared, and the influence of the collection area on the quality of fiber extraction was analyzed, which laid a foundation for further improvement and optimization of the microwave open-fruit fiber extraction equipment.

Keywords: calotropis gigantea fiber; fiber lifting equipment; collection area; quality; hollowness

1 牛角瓜和牛角瓜纤维

牛角瓜[图 1a)、图 1b)]主要分布在亚洲、非洲等

热带和亚热带地区,其生命力顽强,可以在河滩、沙漠、荒凉、干旱的野岭上生存,种植过程不仅无需施肥,还可以改善环境,起到固土防沙的作用。中国的云南、广东和广西等地区都分布有牛角瓜。牛角瓜纤

纤维是牛角瓜果实经脱籽去壳等加工后得到的冠毛纤维[图 1c)~图 1e)],纤维一端封闭、一端开口,纵向光滑无转曲,整体呈细长圆锥形,纤维长度与长绒棉相似,截面为中空椭圆形或圆形[图 1f)],纤维壁很薄。牛角瓜纤维具有大中空、低强度、易脆断、轻质柔软易漂浮的特点,其独特的中空形态,可用于填充材料或保暖材料^[1-3],还可以作为柔性传感元件材料。牛角瓜纤维用石墨烯改性后纺成纱线和弹性纱线制成独立交叉的结构,开发出的具有很好透气性的柔性传感器可用于检测人体体征变化,该柔性传感器为实现佩戴舒适、高性能和传感可靠的纺织制品提供了一条新的途径^[4-5]。牛角瓜具有独特的壳、籽、纤维和囊四级结构[图 1b)~图 1e)]^[6],目前人工提纤和机械开果都需要在成熟的牛角瓜干燥后进行。

机械提纤是一种纺纱用的纤杂分离装置,该装置由分离系统、喂入系统、纤维收集系统和分层除杂系统组成。机械提纤过程中机械打手会对纤维产生很大的损伤,同时囊也会在加工过程中被打碎黏附在纤维上,提纤得到的纤维质量差、含杂率高,不利于后续加工。人工提纤的效率相当低,1位工人需耗费8h才可提纤1kg的牛角瓜纤维,人工成本高,且由于纤维自身含杂率较高,籽和囊很难去除,囊易破碎,故手工提纤后纤维含杂率仍较高,其提纤效率和纤维质量远达不到后续纺纱加工对纤维的要求。干燥的壳与囊很容易碎裂,且混在纤维上的籽也很难被快速、完全地去除,故提纤效率、提纤质量低下,无法达到高品质、规模化提取,极大地限制了纤维在纺织领域的产业化应用^[7]。



图 1 牛角瓜果实和牛角瓜纤维

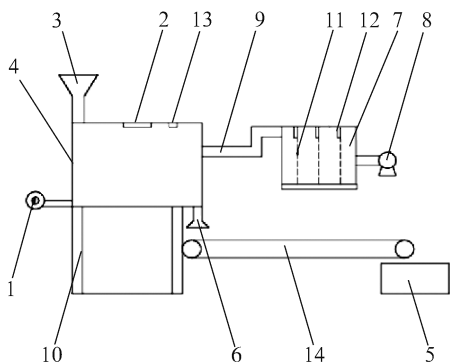
东华大学李毓陵牛角瓜课题组自主研发的微波开果提纤技术^[7],不需要对成熟的牛角瓜鲜果进行干燥,就可以对纤维进行高效提取,同时壳、囊和籽完整分离,很好地消除了壳囊碎裂所带来的纤维大量含杂问题,在高效提纤的同时保证了提纤的质量。

2 牛角瓜微波开果提纤设备

图 2 为课题组开发的具有自主知识产权的微波开果提纤设备简图,系统由风机、微波箱、收集箱和控制系统等组成^[7],图 3a)为设备照片。微波的作用是使牛角瓜内的水分快速蒸发,果实内外产生压力差,压力差引起果实爆破,果壳裂开并展

平[图 3b)]。在微波的作用下果实被加热,牛角瓜纤维从囊上脱落,同时籽从纤维上脱落,质量较大的果壳等杂质在滚筒内,籽和部分囊顺着网筛进入落杂收集箱。由于牛角瓜纤维具有轻质柔软和中空度大的特点,纤维会悬浮在微波箱内,悬浮的牛角瓜纤维和部分籽等杂质会在吹风的作用下进入收集装置,纤维、籽和囊等其他杂质由于沉降速度的不同可被进行二次过滤,大部分纤维会进入上收集器,下收集器则收集了籽、囊、其他杂质以及少量的纤维。^[7]

相比于手工提纤和机械提纤,采用该设备加工展现出很多优点,它能减小对纤维的损伤,达成纤杂分离的目的,提纤后的牛角瓜纤维经过一定的养生处理即可直接用于后续的纺纱、织造加工。



1—风机;2—微波发生器;3—进料斗;4—微波箱;5—下收集箱;
6—出料斗;7—上收集箱;8—抽气泵;9—收集管道;10—支架;
11—网孔板;12—收集刷;13—传输带;14—废料仓。

图2 牛角瓜微波开果设备简图

由上述开果提纤原理可知,开发的设备可以在3个区域——上收集箱、下收集箱和微波箱收集到

纤维。上收集箱中的纤维由抽气泵从微波箱中抽取而得[图3c];下收集箱中得到的是混在排出的碎杂中的纤维[图3d];微波箱中收集的为残存在箱中没有被吸走的纤维[图3e]。

本文将就微波开果提纤机中不同部位收集的纤维的特性展开试验研究,以期验证所研制微波开果提纤设备的基本性能,并为设备的进一步改进和推广应用提出建议。

3 试验设计

3.1 试验材料

试验选取从云南采摘的成熟度较好的牛角瓜鲜果。牛角瓜鲜果的成熟度可以籽的颜色深浅进



a) 牛角瓜微波开果提纤设备照片



b) 微波开果提纤设备提纤后的果壳



c) 上收集器收集的纤维



d) 下收集器收集的纤维



e) 微波箱底收集的纤维

图3 微波开果提纤过程

行区分,通常成熟度较好的牛角瓜籽的颜色是中到深褐色的(图4)。将选取的本批鲜果分为2份:一份采用所开发的微波开果提纤设备直接进行鲜果提纤;另一份采用室内铺展阴干2周后(图5)再手工提纤。

3.2 提纤工艺参数

微波开果提纤设备的工艺参数包括微波高档时间、微波保温时间、热风温度、物料温度、果实数量等。微波的作用是使果实受热均匀,果实内的水



图 4 成熟度好的牛角瓜鲜果



图 5 阴干 2 周后的牛角瓜

分在微波和高温的作用下使果实内外产生压力差,果实发生爆裂,纤维和果壳分开。微波高档时间和微波保温时间的设定可以根据牛角瓜的成熟度和果实数量来确定。由于成熟度好的果实含水率低,温度上升所需时间少,因此成熟度好并且果实数量少时,微波高档时间应设定得较小些。微波保温时间还受环境温度的影响,环境温度较高时,保温时间可以设定得小些。风机提供的一定温度的热风除让纤维内的水分快速蒸发外,还有利于纤维和籽囊的分离;风机的风量还会影响纤维的收集,风量过低则会使很多纤维留在微波箱底,致使上收集箱和下收集箱中收集的纤维变少。物料温度即牛角瓜表面温度的设定可使牛角瓜维持在某一恒定温度,以防止牛角瓜在微波作用下温度过高而损伤纤维。物料温度的设定需考虑果实的数量和成熟度,若果实数量大、成熟度差,则物料温度应设定高些。果实数量不宜过多,因为过多会影响牛角瓜果实在滚筒中的正常翻滚,无法均匀受热,导致提纤效率下降、提纤质量变差。经多次试验,本研究总结的牛角瓜果实提纤设备具体试验参数如表 1 所示。

表 1 牛角瓜果实提纤设备的试验参数

微波高档		微波保温		热风		物料温度/℃	果实数量/个
功率/W	时间/min	功率/W	时间/min	温度/℃	风量/档级		
4	5	1	5	60	高	70	40

3.3 质量检测

表 2 所示为对不同收集区域得到的牛角瓜纤维

进行质量测试的测试指标、测试仪器及测试方法^[3]。其中特有的中空度的检测方法参照了靳美琦等^{[6]8-15.[9-11]}的研究结论。

表 2 测试指标、测试仪器以测试方法参照标准

测试指标	测试仪器	测试方法及参照标准
长度	厘米刻度尺	单根纤维长度测量法,GB/T 16257—2008
直径	SXP-3CA 型生物显微镜	显微镜测量法,GB/T 10685—2007
线密度	JN-B-10-10MG 型精密扭力天平	中断切断法,GB/T 6100—2007
强度	XQ-2 型纤维强伸度仪	纤维强伸度仪测量法,GB/T 14337—2008
伸长率	XQ-2 型纤维强伸度仪	纤维强伸度仪测量法,GB/T 14337—2008
中空度	TM3000 型台式扫描电镜	—
含杂率	BSA124S 型电子天平	GB/T 6499—2012

4 结果与分析

纤维质量检测结果如表 3 所示。

为说明不同区域收集到的牛角瓜纤维各项质量指标差别的显著性,利用 SPSS 数据分析软件对表 3 中不同区域收集到的牛角瓜纤维进行方差分析,显著性差异分析结果如表 4 所示。

表 3 纤维质量检测结果

	长度/ mm	直径/ μm	CV _{直径} 值/ %	线密度/ dtex	CV _{线密度} 值/ %	拉伸性能				中空度/ %	含杂率/ %
						强度/ cN·dtex ⁻¹	CV _{强度} 值/ %	伸长率/ %	CV _{伸长率} 值/ %		
手工提纤	38	14.93	8.42	1.02	3.16	2.82	16.88	2.69	16.27	81.34	46.41
上收集箱	36	13.46	12.90	0.95	6.56	2.56	22.78	1.53	20.06	81.70	6.84
下收集箱	38	15.44	8.81	1.02	1.73	3.08	17.11	2.40	16.51	81.25	20.68
微波箱底	37	14.63	9.36	1.02	2.83	2.80	21.89	2.05	27.62	81.51	0.56

表 4 不同收集区域得到的牛角瓜纤维各质量指标差异显著性分析结果

	平均值±标准差				F	p
	上收集箱	下收集箱	微波箱底	手工提纤		
长度/mm	36.00±1.00	38.00±1.73	36.67±1.53	38.00±1.00	1.636	0.257
直径/μm	16.54±2.13	15.44±1.36	14.64±1.37	14.93±1.26	1.414	0.275
线密度/dtex	1.02±0.02	1.01±0.03	0.96±0.09	1.02±0.01	1.255	0.353
强度/cN·dtex ⁻¹	2.56±0.58	3.08±0.53	2.80±0.61	2.82±0.48	2.929	0.039
伸长率/%	1.52±0.31	2.40±0.40	2.05±0.57	2.68±0.44	26.139	0.000
中空度/%	81.42±0.25	81.35±0.10	81.39±0.17	81.34±0.12	0.438	0.732

利用单因素方差分析法研究不同收集方式对各质量指标的影响。由表 4 可以看出:纤维收集方式不同对纤维长度、线密度、直径均不会表现出显著性($p>0.05$)。收集方式不同对纤维强度呈现出显著性($p<0.05$),意味着收集方式不同对于强度均有着差异性。收集方式对于强度呈现出 0.05 水平显著性($F=2.929, p=0.039$),具体对比其差异可知纤维强度“下收集器>上收集器”。纤维收集方式不同对纤维伸长率呈现出显著性($p<0.05$),意味着收集方式不同对伸长率有着差异性,收集方式对于伸长率呈现出 0.01 水平显著性($F=26.139, p=0.000$)。具体对比差异可知纤维伸长率“下收集器>上收集器;微波箱底>上收集器;手工提纤>上收集器;下收集器>微波箱底;手工提纤>下收集器;手工提纤>微波箱底”。不同收集方式对中空度不会表现出显著性($p>0.05$),意味着不同收集方式样本对中空度表现出一致性,并没有差异性。

总之,不同收集方式对于长度、直径、线密度、中空度均不会表现出显著性差异;不同收集方式对于强度和伸长率有显著性差异。表 3 中牛角瓜的含杂率直接反映其有极为显著的差异。

对比和分析表 4 数据还可知:

——手工提纤得到的纤维的强度介于上收集箱和下收集箱的之间;得到的纤维的伸长率最大。纤

维长度最大,表明手工提纤得到的纤维质量较好,手工提纤过程对纤维的质量损伤较小,但得到的纤维含杂率最高,不利于后道的纺织加工。

——上收集器得到的牛角瓜纤维的长度最小,伸长率最小,直径最小。导致上收集器收集纤维质量指标差的主要原因在于上收集箱收集的是抽气泵抽取的纤维,纤维越细越容易被抽取,但抽取过程对纤维的损伤也相对较大,因此应通过优化提纤工艺参数、改进设备相应器件来降低纤维损伤。上收集器收集的纤维的线密度较小,由于收集器的材质为非织造布,因此收集的纤维可能会存在异纤,后续需对上收集器的材质进行改进。

——下收集器得到的是与碎杂质一起排出的纤维,因此其相对较粗,强度也最大,含杂率相对也非常高。目前的提纤工艺和设备条件下,下收集器内收集的纤维总量已接近上收集器收集的纤维总量的一半。显然,需要对提纤设备进行进一步的改进,在排杂的同时,尽量减少纤维的附带排出,从而降低收集纤维的含杂率,提高收集纤维的质量及提纤效率。

——微波箱底收集的是没有被抽气泵吸走,也没有被排出的碎杂带出的纤维,因此这部分纤维的强度和伸长率介于上、下收集箱的之间,但含杂率很小,纤维总量也比较少,属于提纤过程中残留于微波箱中的纤维,因此需要通过提纤工艺参数的优化及设备相应元器件的改进,尽量降低这部分纤维。

5 结论

——本课题组开发的牛角瓜微波开果提纤设备满足了高效、高质提纤的基本要求。

——设备需进一步改进,目的是要尽量减少微波箱底的纤维残留和纤维随碎杂质的附带排出,尽可能地让绝大部分的纤维在上收集器中被收集,提高提纤效率。

——工艺参数优选和优化的方向是在保持一定伸长率的情况下,尽量减轻对牛角瓜纤维强度的损伤,减少被损伤的牛角瓜纤维的数量,探寻最优的工艺参数设定范围,提高提纤质量。

参 考 文 献

[1] 成广明,丁心华,陆敏杰等.牛角瓜纤维及其应用研究进展[J].中国纤检,2019(5):122-123.
 [2] 罗艳.牛角瓜纤维纺纱工艺研究与保暖用混纺产品开发[D].上海:东华大学,2016.
 [3] 饶良魁.水晶棉纤维织物结构设计及性能研究及产品开发[D].上海:东华大学,2013.

[4] 南通纺织丝绸产业技术研究院,苏州大学.一种可拉伸牛角瓜纤维石墨烯柔性传感器:202110899693.2[P].2021-11-05.
 [5] ZHAO A J, LIU J G, XU Y, et al. Calotropis gigantea fiber-based sensitivity-tunable strain sensors with insensitive response to wearable microclimate changes[J]. Advanced Fiber Materials,2023:1-4.
 [6] 靳美琦,谭宇豪,李毓陵,等.牛角瓜纤维开发的研究进展[J].纺织科技进展,2023(1).
 [7] 李刚,张君泽,李毓陵,等.一种牛角瓜纤维微波提取装置:111575802B[P].2021-06-04.
 [8] 严静.超轻质纤维与籽、囊的场动力学原理及其加工技术[D].上海:东华大学,2014.
 [9] 李汝勤,朱浩,陈跃华,等.纤维和纺织品测试技术[M].上海:东华大学出版社,2005:42.
 [10] 成广明,丁心华,陆敏然,等.牛角瓜纤维及其应用研究进展[J].中国纤检,2019(5):122-123.
 [11] 杨雪.牛角瓜纤维生长环境影响因素分析及结构与性能研究[D].上海:东华大学,2013.

Texcare 2024: 汇聚行业信息 促进交流 激发灵感

国际纺织品洗涤、皮革护理、清洁技术与设备亚洲展览会(简称“中国洗涤展”)于2024年8月2日—4日在上海新国际博览中心举行。展会面积达23 000 m²,吸引了来自14个国家和地区的289家领军企业参展,共同展示创新成果,探索洗涤行业的未来趋势。展会聚焦行业前沿趋势,核心亮点包括数字化管理、信息安全,以及智能化、自动化和定制化洗涤设备的应用等。该展览是法兰克福展览集团在全球主要经济区举办的纺织品护理贸易展览会之一。

备受全球纺织品护理行业瞩目的2024年法兰克福国际纺织品专业处理展览会(Texcare 2024)将于2024年11月6日—9日在德国法兰克福开幕。展会将重点聚焦自动化、能源与资源、循环经济和纺织品卫生等领域核心议题,引领行业趋势,为市场注入新活力。作为国际纺织品护理行业的重要盛会, Texcare 2024 预计将吸引来自30个国家及地区的300多家参展商,并面向来自全球的专业观众集中展示创新产品与卓越成果。该展会不仅汇聚化学品、纺

织品及设备制造领域的领军企业,还将迎来机器人和互联网技术(IT)等领域的新兴企业参展,共同探索纺织品护理的未来趋势。展会将加强对当前行业重大挑战的关注,深入探讨气候友好型工艺的创新之路,应对能源与材料价格攀升的策略,以及缓解劳动力短缺问题的有效途径。

法兰克福展览公司技术展副总裁表示, Texcare 不仅是业界优质的交流平台,更是引领未来发展的关键力量。展会参展商的热情响应远超预期,来自欧洲、美洲与亚洲的优秀企业将共同展示纺织品护理各领域的科技成果。对于全球洗衣、清洁及纺织服务行业专业人士而言, Texcare 2024 必将是一场不容错过的业界盛会。

Texcare 2024 深入聚焦参展企业核心业务领域,将重点展示自动化、能源与资源、循环经济及纺织品卫生等领域的新近成果,全方位呈现各领域前沿产品与服务,同期活动也将紧密围绕这些议题展开。