

菠萝叶纤维提取与工艺设备的研究³

张 劲 姚欣茂 李明福 欧忠庆

(中国热带农业科学院机械研究所)

摘要:介绍了菠萝叶纤维的资源和开发利用情况,进行了刮麻机理、生产工艺和配套设备的试验研究,提出了将菠萝叶在逐步打击和振动的双重作用下使纤维和麻渣分离的原理。用该理论指导研究和设计出的大、小两型机械取纤设备具有良好性能。该理论成果对叶脉纤维的提取研究及生产实践具有重要意义。

关键词: 菠萝叶; 纤维; 工艺设备; 提取

菠萝又名凤梨,著名热带果品。主产国有巴西、印度、菲律宾、印尼、泰国、越南和中国。我国产地分布广东、海南、广西、福建、云南和台湾等省(区),种植面积约60 000 hm²。菠萝果实平均产量17 t·hm⁻²,茎叶120~150 t·hm⁻²,可提取纤维的叶片达60~90 t·hm⁻²^[1]。菠萝叶除含有2%左右的纤维外(指干纤维与鲜叶重量比),还含有植物蛋白、淀粉及葡萄糖、钙、磷和大量的叶绿素。提取纤维后的叶渣,可提取天然色素,可制成牲畜饲料、食用菌原料和有机复合肥。

菠萝叶纤维属叶脉纤维。加工后,其强度比棉花高,手感如蚕丝似亚麻,可混纺或纯纺,一般可纺30公支纱,精加工后可纺50公支纱甚至更高^[2]。织物吸湿透气,凉爽不贴身,挺括不起皱,容易印染,适宜制作中、高档西服、衬衫、领带、各种装饰物及高级纸张。随着世界市场对天然纤维需求量的迅速增长,不少国家如日本、美国、印度、菲律宾和我国台湾开始对菠萝叶纤维进行开发利用并取得了一些商业成果。近年来国内有关单位也进行了积极的研究探索,已研制成功中、低档混纺织物和成衣,使菠萝叶纤维的商业利用成为可能。因此,进行菠萝叶纤维的提取与工艺设备的研究具有重要意义。

1 菠萝叶纤维的提取加工

1.1 菠萝叶及其纤维的形状和结构

菠萝叶片的形状基部宽,尾部尖,纵向弯曲多成弓形,横向基部成半圆形,尾部有一定的弧度,有些

品种叶缘有锯齿形的刺。叶片最长可达100 cm以上,平均长约60~70 cm。

叶片分为表皮和叶肉两部分。表皮有腊,较为坚韧。叶肉富含叶绿素,有许多空隙和果胶,水分占叶片的70%,纤维就生长在其中。纤维有支持叶片、使叶片刚直的作用。菠萝叶纤维以束纤维的形式存在于叶片中,是多细胞纤维,纤维单细胞仅3~8 mm长^[1]。由于单纤维长度很短,靠胶质将单纤维粘连成具有一定长度的束纤维,因而在提取纤维时,打击要适度,不能过分脱胶。

1.2 纤维的提取方式

菠萝叶纤维的提取方式有水浸法、生物化学法和机械提取法。

水浸法提取即用水浸泡叶片7~10 d,使其自然发酵,纤维周围的组织遭到破坏失去稳定,经人工刮取、清洗、干燥,获得原纤维。生物化学处理提取是用生物和化学溶液浸泡叶片,即将叶片浸入含有1%纤维酶或其它酶液中,酶液的pH值为4~6,在40℃下处理5 h^[1],破坏纤维周围组织,再经人工刮取、清洗、干燥获得原纤维。机械提取法是用机械力破坏纤维周围组织,同时完成纤维和叶渣的分离,经清洗、干燥获得原纤维。水浸法生产时间长,占用场地(池)大,劳动强度高,生产效率和提取率低,纤维强度降低,浸泡废液污染环境,不宜采用。生化处理生产时间短,占用场地(池)大,劳动强度高,生产效率较低,纤维质量一般,浸泡废液污染环境,成本高,亦不宜采用。

机械提取法主要是利用刮麻机,有纵向喂入式和横喂入式两种。国外已有小型连续纵向喂入刮麻机及国内有我所研制的小型菠萝叶手喂式刮麻机。

收稿日期: 2000-06-21

3 农业部重点课题(垦201204205)

张 劲,副研究员,湛江市湖秀新村 中国热带农业科学院机械研究所, 524091 Email: tropic@pub.zhangjiang.gd.cn

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

手喂式小型刮麻机具有结构简单, 功率小, 重量轻, 使用维护和移动方便, 占用场地小, 劳动强度较低, 加工出的纤维整齐, 含杂质量好, 麻渣可回收利用等优点, 适宜在田间地头或农户家庭生产。以横喂入刮麻机为主配套完成的连续刮麻加工生产线, 具有机械化程度高, 可连续化生产, 生产效率高, 纤维质量好, 含杂率低等优点, 但纤维提取率稍低。适宜菠萝种植集中区规模化生产。

2 机械刮麻原理

研究表明, 机械刮麻是依据叶片组织中的纤维强度和柔韧性比表皮和叶肉好的物理性质, 施以适当机械力破坏表皮和叶肉, 以提取纤维。刮麻时叶片以一定的速度进入刮麻机刀轮(动刀)和底板(定刀)组成的窄小空间, 在刀片的打击下, 表皮和纤维周围的叶肉组织逐段被破坏, 成为碎麻渣与纤维分离或夹挂在纤维之间, 叶片变得松软, 失去刚性; 松软的叶片在空气动力、动刀打击力和定刀反弹力的共同作用下产生强烈的波浪式振动, 一边抖出来在纤维中间的麻渣, 一边与刀片碰撞继续接受打击; 与此同时, 刀片紧贴纤维沿纤维方向将打击和振动后被破坏, 抖出的麻渣和少数未被破坏的青皮刮离纤维, 达到提取纤维的目的。这与传统原理不同。剑麻机械提取纤维的原理认为, 在提取纤维的过程中, 挤压的作用是主要的, 仅考虑了动刀与定刀之间间隙、叶片喂入线速度和刀轮线速度这三要素, 忽视了打击和振动的重要影响, 因而造成设计上的偏差, 使得剑麻刮麻机的主要技术性能, 纤维提取率和含杂率不够理想。值得指出的是, 由于剑麻纤维强度远大于菠萝叶纤维的强度(剑麻纤维强度 860 N·300 mm, 菠萝叶纤维强度 9.96 N·300 mm), 更大于其自身表皮和叶肉组织的强度, 因而这一设计偏差给剑麻刮麻机造成的影响会小于菠萝叶刮麻机。

3 纤维提取工艺与设备

3.1 手喂式刮麻机

该机是直喂入式刮麻机的一种, 作业时由人手握着麻叶, 纵向送入机内, 刮完一半后抽出, 掉头刮另一半。其结构主要由: 刀轮、底板、机架、动力传动系统 4 部分组成。

3.1.1 叶片受力分析

刮麻机高速转动的刀片打击叶片时, 叶片受瞬

时打击力 F_1 、刮削力 F_2 、底板的反弹力 N 、手拉力 P 和叶片振动惯性力的共同作用。因惯性力对打击点的影响很小, 可忽略不计。其受力情况见图 1。

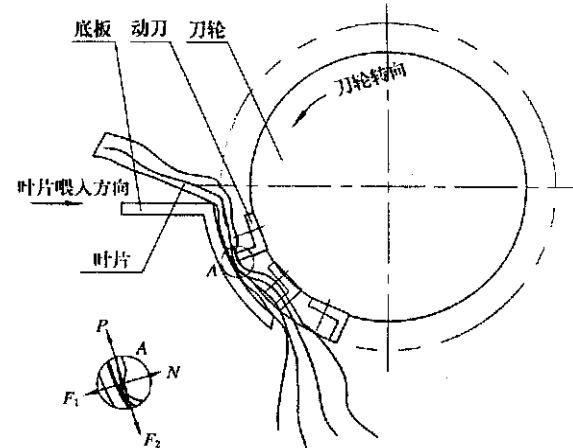


图 1 手喂式刮麻机示意图

Fig. 1 Sketch of the hand feeding fiber extractor

从叶片 A 点受力情况看, 其表皮和叶肉组织的破坏主要靠 F_1 和 N , 其破碎的麻渣主要靠 F_2 在相对平衡状态下的刮削。 F_1 和 F_2 是刀片总力沿叶片垂直和切线方向的两个分力, 在总作用力一定的情况下, 其大小随刀片与叶片的接触角而变化, 接触角大的打击力 F_1 变大, 刮削力 F_2 变小。叶片振幅与接触角正相关, 因而对 F_1 也是正相关的。从 F_2 和 P 的动平衡看, 其对叶片打击密度和刮削质量会产生直接的影响, 人手控制的喂入速度不如机械稳定, 因而喂入时的操作是至关重要的。叶片的振动是打击力 F_1 、反弹力 N 和空气动力共同作用的结果。

3.1.2 主要技术参数选择

试验表明: 在刮麻过程中, 叶片的打击力、打击频度、刮削力、叶片振幅和频率以及空气动力起了重要作用。上述分析确定了设计参数的选择原则和范围:

打击力: 动刀线速度(刀轮转速、直径)、动定刀间隙、叶片刚度和振幅。

打击频度: 动刀轮转速、动刀数、叶片喂入速度。

刮削力: 动刀线速度、叶片振幅、打击频度。

叶片振幅: 动刀高度、动刀间距、叶片含渣状态。

叶片振动频率: 动刀转数、动刀数。

中国热带农业科学院机械研究所研制的 GZ2-266 型手喂式刮麻机的主要性能参数如下: 生产率 40 kg·h⁻¹, 提取率 90% ~ 93%, 含杂率 1% ~ 5%, 配套动力 1.1 kW, 外形尺寸: 450mm × 365mm ×

900 mm。

3.2 菠萝叶纤维连续加工生产线

3.2.1 总体方案

生产线工艺流程如下: 鲜叶分拣 整理 排麻 齐头 排麻 夹麻 刮麻(叶尾部) 换位夹麻 刮麻(叶基部) 水洗(分离) 压水 干燥 打包 入库。

主要配套设备: 排麻齐头装置, 夹麻机构, 第一刮麻机和第二刮麻机, 水洗分离装置, 压水机等 5 部分。纤维提取加工生产线配置见图 2。

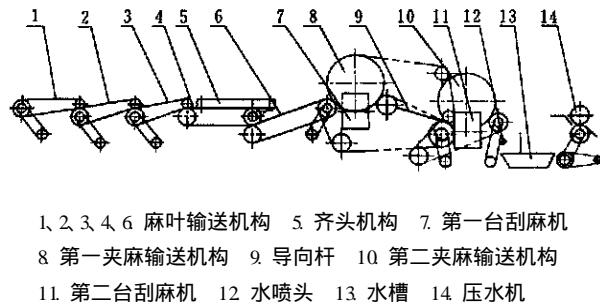


图 2 纤维提取生产线示意图

Fig. 2 Sketch of the fiber extraction line

设计生产率为加工鲜叶 1~2 t/oh (相当剑麻生产率 13~26 t/oh 的生产线), 纤维提取率大于 80%, 含杂率小于 5%, 湿纤维压水处理后含水率不大于 79%, 配套动力 22 kW, 生产线总长约 24 m。

3.2.2 配套设备及主要技术参数的选择

1) 排麻齐头装置

整个装置长 17 m, 由 5 条输送带分 4 级组成。各级速比由前向后为 1 2, 1 2, 1 1, 6, 1 6 1。该装置有 3 项功能: 定量连续输送叶片给夹麻机构喂入刮麻机; 在输送过程中, 将多层叶片排列成有间隔的单层; 将有间隔单层叶片最终排列均匀整齐。

工作过程: 将叶片按 4~5 层堆放在第一条输送带, 经第一、第二级增速摊薄, 叶片已基本排成为均匀单层, 达到生产率所需要的喂入速度; 由于菠萝叶弯曲的特殊形状且叶缘带刺, 叶片之间互相牵扯, 因而叶片的齐头不能象剑麻叶片那样直接进行, 需要再次将叶片摊开使之出现间隔, 以免齐头移位时叶片之间发生干涉; 用于再次摊开的输送带上方设计安装有与输送带同方向、同步速度的齐头带, 使叶片基部在移动中对齐, 这时叶片速度已超过喂入速度; 对齐后有间隔的叶片, 再经过与上一级相反的速度比收缩, 速度恢复到刮麻机喂入速度并排列成均匀整齐的一列。

在排麻输送过程中, 由于弯曲的形状使叶片脱

离上一级或接触下一级时, 因级间差速造成一端在前并相互牵扯, 使叶片打横错位。设计上已考虑尽量减少上下级输送带之间的高差, 以消除这一影响, 但这一现象尚不能根本消失, 因而人工辅助是必不可少的。

2) 夹麻机构

夹麻机构主要是由两条特制的六角胶带、一条三角胶带、两个大夹麻轮(其中一个轮槽有大小两个三角皮带槽(如图 3))、9 个皮带轮、两个弹簧张紧机构和一个导向杆组成(如图 4)。

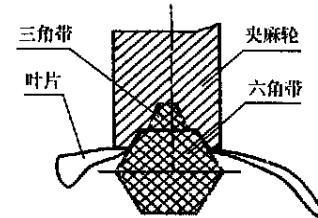
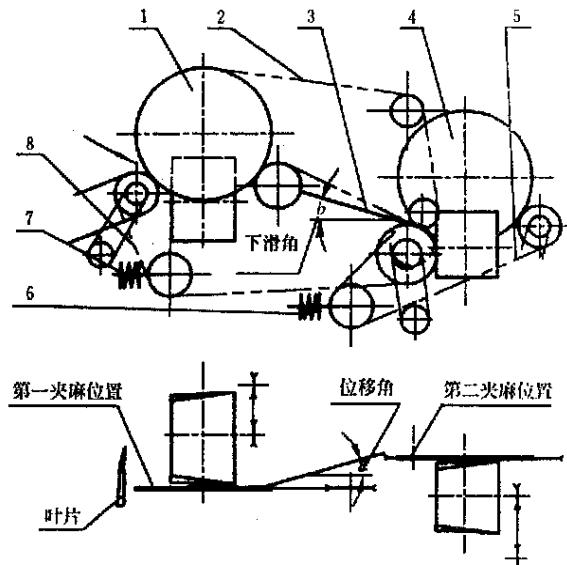


图 3 夹麻示意图

Fig. 3 Sketch of the fiber gripping



1. 第一夹麻轮 2 三角胶带 3 导向杆 4 第二夹麻轮
5, 8 六角胶带 6, 7 张紧装置

图 4 夹麻机构示意图

Fig. 4 Sketch of the fiber gripping mechanism

工作过程是: 叶片从喂入口横向进入第一夹麻轮, 三角带、六角带组成的第一轮系, 装有三角带的第一夹麻轮与六角带夹住距叶片基部 150 mm 的位置进入第一刮麻机; 已刮取了一边纤维的叶片从刮麻机中移出, 脱离第一夹麻轮, 由三角带和六角带夹住送往第二刀轮喂入口; 由于已刮取的纤维细软、刚

性不够, 在移送途中须设置一导向杆将纤维托起导向正确的夹持位置; 当第二夹麻轮和六角带夹住由第一轮系送来的叶片纤维一段时间后, 叶片未刮一端从第一轮系三角带和六角带的夹持中脱离, 以确保叶片夹持移送的可靠性; 接着第二轮系中的第二夹麻轮和六角带夹住纤维将未刮麻叶送入第二刮麻机, 刮取剩余一边的纤维。

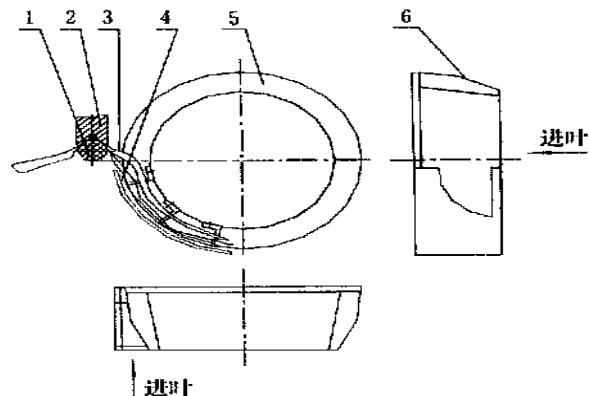
该夹麻机构有不同于剑麻夹麻机构的 3 个不同特点: 一是菠萝叶纤维细软, 象剑麻那样用链条夹持叶片时易断, 用链和麻绳夹持纤维时, 因夹持表面不平有缝隙夹不住。采用特制加强六角胶带很好地解决了这一问题。二是夹麻采用六角胶带, 使得轮系中无论胶带在内圈还是外圈传动都具有很好的动力性和夹持力, 简化了机构; 三是菠萝叶纤维不象剑麻纤维刚性好, 导向杆的空间位置必须保证细软的纤维在杆上不滞后, 不堆积, 可靠过渡, 以免影响第二轮系的夹麻正确位置, 避免出现“戒子”麻。设计上使第一、第二刀轮有一定的间距和高度差, 以保证纤维在导向杆上的下滑角足够大, 有一定的重力下滑分力; 位移角足够小, 以减少滑动阻力。

3) 刮麻机

生产线中设计有第一和第二两台独立的刮麻机, 分别布置在生产线的左右两侧, 除刀轮直径和刮刀数量不同外, 其结构完全相同。主要由锥形刀轮、斜口底板、机架和动力传动系统组成。

刮麻机是生产线的关键, 横喂入刮麻机的刀轮和底板与直喂入刮麻机不同; 动刀刀形是一段平—一段弧形的两段式, 见图 5; 底板同是圆弧形, 但横喂式底板沿叶片运动方向开有一斜缺口。逐段打击叶片的情况见图 6。

由图 5 可见刀轮(动刀)与底板(定刀)配合, 形成一条由宽到窄的间隙, 当叶片经过时, 在刀轮的打击和底板的撑垫下, 叶片表皮和叶肉组织被破坏, 抖出, 刮除。整个过程可分为前、中、后 3 个阶段: 叶片进入刀轮, 处于刀轮前段, 虽然间隙是最大的一段, 底板的撑垫作用最小, 但这时叶片刚性最大, 振幅也较大, 与刀接触的角度也较大, 因而打击力是较大的; 进入中段, 随着间隙变小, 撑垫作用增强, 叶片被击打逐渐变软刚性变小, 振幅变到最大, 与刀的接触角也是最大的, 因而, 此时刀对叶片的打击和刮削力达到最大, 刮麻作用最大的就是这一段; 进入后段, 虽然间隙已变到最小, 但底板的撑垫作用基本已经失去, 因为叶片被击打刮削, 几乎只剩下了纤维, 变



1. 六角带 2. 夹麻轮 3. 叶片 4. 底板 5. 刀轮 6. 刮刀
图 5 横喂入式刮麻机示意图

Fig. 5 Sketch of the horizontal feeding fiber extractor

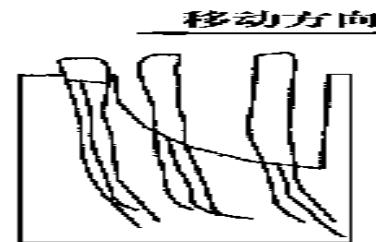


图 6 叶片在底板中被刮的状态

Fig. 6 Sketch of the status of leaf extracted in the bottom board

得又软又轻, 振动逐渐减弱, 振幅变小, 与刀接触的角度也达到最小。在高速气流形成的低压区内紧贴刀轮飘动, 所以打击力和刮削均变得最小, 纤维不易断裂, 可顺利进入平刀段离开刮麻机。以上分析可知, 叶片进入刮麻机, 从前段到中段, 打击逐渐增大。到了中段, 受到的单刀打击强度和多刀打击总力都是最大的, 这就使叶片被打飞或断裂的机率增加。我们观察到被打飞或断裂的叶片多在刮麻机的前、中段。

刀轮设计成锥形, 以配合两段式刮刀曲线圆滑渐变和降低刀高的要求, 使打击不会突变; 底板开斜口使叶片被逐段打击(见图 6), 减少了打击总力(与直喂式刮麻机打击原理相同), 也减轻了夹麻机构的负荷, 降低叶片断裂或被打飞的可能性, 从而提高了提取率和生产效率。

4) 水洗分离装置

纤维从刮麻机中出来后, 尚含有果胶、麻渣, 必须及时进行清洗, 使部分果胶溶于水中, 同时也将麻渣洗掉。脱水装置由清水泵、喷嘴、挡水板、循环水槽组成。被压力水柱冲离的纤维自动落入水槽漂洗, 水

槽中的水被水泵再次抽取循环使用, 直到不能用时更换, 节约了用水; 而纤维从水槽一端漂向另一端, 因为水的冲洗和水槽中的漂洗, 从水槽中捞出的纤维无须处理即可进行脱水, 这样水洗的纤维脱胶干净洁白, 但纤维较乱。

5) 压水机

纤维经清洗后, 含水量大, 需用压水机进行脱水。压水机是由一对辊筒、一对强力弹簧调压机构、喂入台、出麻斜板和机架动力构成。辊筒中的一个由钢管制成光辊, 另一个在钢管外粘接一层厚胶套, 靠磨擦对转并实行差速。弹簧调压机构和胶套共同完成压力的粗调和微调, 以保证不同量纤维的脱水率。工作时, 纤维由喂入板进入两筒之间, 经辊筒挤压后, 水沿着下辊筒和出麻斜板的漏水孔流下, 纤维从出麻斜板上滑出, 使纤维和水分离。

4 结语

1) 菠萝叶纤维是一种新兴的极具开发利用价

值的天然纤维, 本项目仅解决了上述取纤问题。菠萝叶纤维的开发利用在我国刚刚开始, 要实现商业化应用, 还需要从菠萝品种到种植、纤维提取和处理、纺纱织布和制品等多个行业的共同努力。

2) 菠萝叶纤维提取技术和工艺设备的研究是一种前瞻性研究。研制的小型刮麻机适合田间地头或家庭使用, 已投入生产; 大型纤维提取生产线已经完成, 技术理论成熟, 正在改进完善。

3) 该项目的研究成果对提高叶脉纤维等刮麻机械纤维提取率和减少含杂率均具参考价值。

[参 考 文 献]

- [1] 李明福, 张 劲等. 菠萝叶纤维的研究动态及发展对策. 麻纺织技术, 1999, 22 (1): 17~ 22
- [2] 郁崇文. 风梨麻纤维的开发利用. 麻纺织技术, 1997, 20 (3): 13~ 15
- [3] 郑贻春编. 热带作物产品加工. 华南热带作物学院, 1991. 16~ 26

Research on Pineapple Leaf Fiber Extraction and Processing Equipment

Zhang Jing Yao Xinniao LiM ingfu Ou Zhongqing

(The Machinery Research Institute of Chinese Academy of Tropical Agricultural Science, Zhanjiang 524091)

Abstract This paper introduced the resources and developing situations of pineapple leaf fiber, and the experimental research on the fiber extraction mechanism, the production technology and the complete set of processing equipment were conducted. In accordance with the new mechanical extraction principle, namely, after the pineapple leaves were struck and vibrated step by step, the fiber and sediments were separated, two types of equipment with good performance for fiber mechanical extraction were designed. The principle presented in this paper is of significance to leaf fiber extraction.

Key words: pineapple leaf; fiber; processing equipment; extraction