U582.572.4 (*Agave Tequilana*) : U676.034/.022.6 : P 623-623

アガベ・テキラーナの葉繊維と繊維状絞りかすの パルプ化並びに製紙適性

栗田利雄¹⁾, 三橋重信¹⁾, 金綱久明¹⁾, 井口正俊¹⁾, 代田 忠¹⁾
トリフィジョ J. J.²⁾, エレラ T.²⁾

Pulping and Papermaking Properties of the Leaf Fiber and Fibrous Residue from *Agave Tequilana*

Toshiro Kurita¹⁾, Shigenobu Mitsuhashi¹⁾, Hisaaki Kanetsuna¹⁾
Masatoshi Iguchi¹⁾, Tadashi Shiota¹⁾
Trujillo J. J.²⁾ and Herrera T.²⁾

Agave Tequilana has been cultivated in Mexico for the manufacture of an alcoholic drinks well known as "Tequila". For this purpose, the root stock of the plant is commercially used by cutting off leaves from the plant.

In the course of "Tequila manufacture process", a large quantity of fibrous residue is expelled out of the process as waste by pressing the cooked root stock. The leaves of the plant have not been utilized and left in the plantation as waste material.

In this paper, both of the fibers obtained by decorticating from the leaves (**sample A**) and fibrous residue (**sample B**) were investigated for their pulping and paper-making properties, mainly on physical properties in relation to beating.

From the results of this investigation, it was found that :

- (1) The fibrils in **sample A** showed parallel orientation to the fiber axis, and those in **sample B** showed helical arrangement with respect to fiber axis.
- (2) The average length and width in fiber cells were in value of 1.7 mm, 10.3 μm for **sample A** and 0.8 mm, 25.5 μm for **sample B**, respectively.
- (3) The fiber cell in **sample A** had a thicker cell wall and a narrower lumen compared with those in **sample B**.
- (4) **sample A** contained a very high quantity of soluble material in 1% NaOH solution, however, the contents of total-cellulose, α -cellulose and lignin were in low value. In contrast, **sample B** contained high contents of total-cellulose, α -cellulose, pentsan and lignin.

1) 繊維高分子材料研究所

Research Institute for Polymers and Textiles. 1-1-4 Yatabe-higashi, Tsukuba, Ibaraki Pref. 305 Japan.

2) グアダラハラ自治大学 (メキシコ)

Universidad Autonoma de Guadalajara. Av. Patria 1201, Lomas del Valle Guadalajara, Jalisco, Mexico.

(5) Alkaline sulfite cooking process was applicable successfully to the both samples. But more rigorous condition was required in these samples than would be expected from the chemical constituents of both samples.

(6) The pulp yield of **sample A** was very low compared with **sample B**. It was attributed to the low contents of total-cellulose and α -cellulose of raw material.

(7) The brightness of pulp from **sample B** was low. It might suggest that some lignin remains in this pulp.

(8) The water retention values and the bulk densities of the pulps from **sample A** increased rapidly on beating. It might suggest that an internal fibrillation in pulp fiber of **sample A** occurs more easily on beating.

(9) The opacity of papers made from both samples decreased slowly on beating, and the tendency was not so remarkable. As a whole, these values remained at a high level compared with papers made from beaten conventional chemical wood pulps.

(10) The breaking length, burst factor and tear factor of papers from **sample A** were in a high values than those of **sample B**. The breaking length and burst factor of papers from **sample A** were in comparable with papers made from beaten conventional chemical wood pulps, and the tear factors were superior to them.

1. 結 言

アガベ・テキラーナはヒガンバナ科 Agave 属の植物であり、メキシコの酒として有名な“テキーラ”の原料でもある。この植物は球状の株とその上に花卉状に群生する固いふ厚い葉から成る。株は“テキーラ”の原料として用いられ、葉は収穫時切捨てられ大地還元されている。

株は密閉可能な部屋に搬入され、密閉後高温水蒸気による糖化処理を受ける。処理された株から圧搾機を通して糖液が絞り出される。糖液は発酵、蒸溜工程を経て“テキーラ”になる。圧搾工程で多量の繊維状絞りかすが廃棄物として排出される。現在この絞りかすは下級家具のクッション材や陶磁器などの荷造用緩衝材として一部が利用されている。

他方、予備調査の結果から、切捨てられた生葉の表皮や葉肉（基本組織系）を機械的に除去すれば、8%の収率で葉繊維が得られることが明らかになった。この葉繊維と繊維状絞りかすのメキシコにおける1日当りの排出量は、それぞれ40 tと105 tである。

繊維高分子材料研究所は、工業技術院の国際研究協力事業の一環としてメキシコ国グアダハラ自治大学との共同研究により、現在これら未利用植物繊維を新しい植産資源として見直し種々の有効利用法を探索中である。

本研究ではその中の一つとして、これら繊維の化学組成や形態的特徴を明らかにし、パルプ化を行い、叩解による製紙適正の変化を検討した結果について報告

する。

2. 実 験

2.1 試 料

本研究では葉繊維と絞りかす繊維の二種類の繊維を試料とした。葉繊維は、収穫時切捨てられた生葉を金づちでまんべんなくたたき、組織を柔らかくして、葉の一端を固定して金属片で表皮と葉肉をしごき取り、十分に乾燥して試料とした。絞りかす繊維は、醸造工程で排出された繊維状絞りかすを乾燥して試料とした。

2.2 X線回折

各試料繊維をねじれや交差がないよう平行に並べ、その上に酢酸ビニル（2% メタノール溶液）を一滴たらし、マッチ棒状に成形した。これに陰極に銅を用いニッケルで単色化したX線ビームを照射し、平板カメラで回折写真をとった。

2.3 繊維の横断面の形態観察

各繊維を平行に並べ、ところどころをエポキシ樹脂で接着固化し、さらにその接着部から未接着領域 1~2 cm の範囲をセメダインで接着固化した。清浄なカミソリ刃を用いて、エポキシ樹脂接着部末端より 1~2 mm 離れたセメダイン接着部を繊維軸に垂直に切断した。アセトンでセメダインを完全に溶解除去した。繊維がバラバラにならぬようエポキシ樹脂接着部を切り、その切口を走査型電子顕微鏡用試料台にはり付けた。金イオンを試料に蒸着した後、切断された繊維の横断面を走査型電子顕微鏡で観察し、写真を撮影した。

2.4 化学組成分析

Fig. 1 X-ray diffraction patterns of leaf fiber and fibrous residue.

木材分析法¹⁾を参照して分析を行った。

2.5 蒸解・精選

蒸解は試料を約5cmに切ったものを原料とし、4l容量回転式オートクレーブで行った。蒸解条件は、試料量 330g、液比 10:1、薬品は試料に対して、葉繊維で亜硫酸ナトリウム 25%、水酸化ナトリウム 6%、絞かす繊維で亜硫酸ナトリウム 30%、水酸化ナトリウム 8%、両試料とも最高温度 180°C、最高温度保持時間 4時間であった。

蒸解後 200メッシュの金網を用いてパルプを十分に水洗した。一定時間標準離解機で離解した後、粗収率を求め、さらに10カットスクリーンを通して除じん並びに結束繊維の除去を行い、精選収率を求めた。

2.6 繊維長並びに繊維幅の測定

パルプ繊維をスライドガラス上にのせ、針で繊維を十分に広げ万能投影機で拡大し、繊維長と繊維幅を測定した。長さはキルビメーターで500本以上、幅はノギスで200本以上それぞれ測定し、各々の分布を調べた。

2.7 叩 解

叩解はPFIミルを用いて次の条件で行った。パルプ量 22g (絶乾)、パルプ濃度 10%、クリアランス 0.2mm、相対速度 5.5m/s、荷重 1.8kg/cm。

2.8 製紙適性の測定

叩解繊維の性質の測定は次の項目につき行った。1)

フリーネス (C.S.F)、2) 沝水時間 (TAPPI 標準法)、3) 保水度 (JIS、測定中の水分蒸発を防ぐためステンレス製のふた付き遠心分離管を用いた)。

紙質の測定は、まずJISの方法に従ってシートを作製し、これを温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $65 \pm 2\%$ の恒温恒湿状態で4時間以上シーズニングした後、次の項目についてJISに従って行った。1) 坪量、2) 密度、3) 白色度、4) 不透明度、5) 比散乱係数、6) 裂断長、7) 伸び (破断時伸長率)、8) 比破裂強さ、9) 比引裂強さ。

3. 結果並びに考察

3.1 X線回折

図1に各試料のX線回折図を示す。いずれも天然繊維素に特有なセルロースI型結晶形を示している。

葉繊維では(002)、(10 $\bar{1}$)、(101)の回折が赤道上に存在しているが、絞りかす繊維のそれは赤道をはさみ分離している。これは、葉繊維のフィブリルは繊維軸にほぼ平行に配列しているが、絞りかす繊維のそれは繊維軸に対して傾き、ヘリカルに配列していることを示唆している。

3.2 繊維の横断面の形態観察

図2に各試料の横断面の走査電子顕微鏡写真を示す。 $\times 200$ では、葉繊維の断面は平らで詳細は明らかでないが、絞りかす繊維は多数の繊維細胞 (以下繊維と略

Fig. 2 Scanning electron micrographs of transverse section of leaf fiber and fibrous residue.

Table 1 Chemical Constituents of Leaf Fiber and Fibrous Residue *Agave Tequillana* %

	leaf fiber	fibrous residue
Cold water solubles	44.5	9.4
Hot water solubles	41.7	11.9
1% NaOH solubility	60.2	29.6
Alcohol-benzene extractives	5.2	3.1
Holocellulose	55.0	78.9
Total cellulose	35.7	52.9
Alpha-cellulose	27.8	34.0
Pentosan	14.2	21.6
Klason lignin	4.5	15.4
Ca-pectate	7.9	4.4
Ash	3.1	4.5

Table 2 Data on cooking

	leaf fiber	fibrous residue
Cooking condition	Na ₂ SO ₃ 25% + NaOH 6% liquor ratio 1 : 10 180°C 4 h	Na ₂ SO ₃ 30% + NaOH 8% liquor ratio 1 : 10 180°C 4 h
pH of waste liquor	8.3	8.8
Crude yield, %	29.3	42.8
Screened yield, %	24.2	38.2
Brightness, %	56.6	35.3

す) から構成されている。×2,000 では、葉繊維は内この小さい径約 10 μm の繊維で構成されている。他方、絞りがす繊維は内この大きな径約 20~25 μm の円形や、または長軸が 25~35 μm の長円形の繊維で構成されている。

残リグニン量や叩解による繊維の柔軟化を考慮する必要があるが、一般に内こうに対して壁の厚い繊維は管状構造をとり、低密度、繊維間結合面積の小さい多孔性シートを作り、内こうに対して壁の薄い繊維は、つぶれ易くりボン状構造をとり、高密度、繊維間結合面積の大きなシートを作る^{2)~4)}。したがって、葉繊維は前者の形態的特徴を有し、絞りがす繊維は後者の形

態的特徴を有する。

3.3 化学組成

表 1 に各試料の化学組成を示す。葉繊維は絞りがす繊維より水及びアルカリ可溶分が多く、ホロセルロース、全セルロース、α-セルロースが少ない。これは葉繊維のパルプ収率が低くなることを示唆する。

絞りがす繊維は葉繊維よりペントサン、特にリグニンが多い。これは絞りがす繊維のパルプ化ではより多量の薬品を必要とすることを示唆する。

3.4 蒸 解

表 2 に蒸解実験の結果を示す。蒸解条件は、蒸解時間を 4 時間に固定し、蒸解温度と薬品濃度を種々変え

Table 3 Chemical Constituents of Raw Materials and Pulps %

	leaf fiber		fibrous residue	
	uncooked	pulp	uncooked	pulp
Total cellulose	35.7	93.6	52.9	87.4
Alpha-cellulose	27.8	73.8	34.0	61.1
Alcohol-benzene extractives	5.2	0.6	3.1	0.5
Pentosan	14.2	18.7	21.6	24.5
Klason lignin	4.5	2.0	15.4	5.7
Removal of lignin	89.3		85.9

Fig. 3 Distribution of fiber length.

た実験を行い、蒸解後離解機による繊維の離解の難易性から判定した。

両試料とも、そのリグニン量から予想される以上に過酷な条件が必要であった。例えば、葉繊維ではこれよりもリグニン量の多いマニラ麻やバナナ葉繊維の蒸解条件、 Na_2SO_3 14.5% + NaOH 2%, 最高温度 160°C, 最高温度保持時間 4 時間⁹⁾ では、蒸解後原料繊維の形状が、離解しても保たれていた。しかし温度を上げ、薬品濃度を多くした表示の条件では、蒸解後原料繊維の形状が保たれていたものの、離解により容易に繊維に離解できた。

粗収率、精選収率は化学組成の相違を反映して、水およびアルカリ可溶分の多い葉繊維の方が低い。白色度は絞りかす繊維の方が低い。

表 3 に各試料の蒸解による化学組成の変化を示す。全セルロースと α -セルロースは非繊維素成分が除去されているために相対的に高くなっている。またペントサンも若干高い。他方、リグニンは少なくなっている。脱リグニン率は、葉繊維で 89.3%, 絞りかす繊維で 85.9% である。

残リグニン量は絞りかす繊維の方が大きい。これが絞りかす繊維パルプの白色度を低くし、繊維の膨潤性や柔軟性に影響を与えると思われる。

3.5 繊維長並びに繊維幅

図 3 に各試料の繊維長の分布曲線を示す。いずれの曲線も左右対称である。葉繊維の方が分布の幅が広い。平均繊維長は、葉繊維で 1.7 mm, 絞りかす繊維で 0.8 mm である。

Fig. 4 Distribution of fiber width.

Fig. 5 Effect of beating on freeness.

Fig. 6 Effect of beating on drainage time.

図4に各試料の繊維幅の分布曲線を示す。絞りかす繊維の方が分布の幅が広い。平均繊維幅は、葉繊維で10.3 μm, 絞りかす繊維で25.5 μmである。

3.6 叩解による紙料及び紙質の変化

3.6.1 紙料の変化

図5に叩解によるフリーネスの変化を示す。両試料とも未叩解の値は同じであるが、叩解が進むと絞りかす繊維の方が低下が大きい。

図6に叩解による沝水時間の変化を示す。回転数600回までは試料間に大きな差が認められないが、これを越えると葉繊維の沝水時間の立上りが大きくなる。

図7に叩解による保水度の変化を示す。未叩解では葉繊維の方が著しく低い。これはこの試料の形態的特

徴のため水の取り込みが少ないためであろう。叩解が進むと両試料とも高くなるが、全般的には絞りかす繊維の方が高い。しかし、葉繊維は低い値が叩解で急激に高くなり、絞りかす繊維の値に近づく。他方、絞りかす繊維は叩解初期に高くなり、その後の変化はゆるやかである。

このことは、葉繊維は叩解による内部フィブリル化が著しく進み、水の取り込みが多くなり、柔軟性に富む形態構造をとり易いことを示す。他方、絞りかす繊維は、残存リグニンのため繊維が強く、叩解初期に柔軟性を増すが、その後の柔軟性の増加はゆるやかなものと考えられる。

Fig. 7 Effect of beating on water retention value.

Fig. 8 Bulk density changes on beating.

3.6.2 紙質の変化

図 8 に叩解による密度の変化を示す。未叩解では葉繊維の方が低い。これは管状構造に起因するためであろう。叩解が進むと保水度の変化に対応するように、両試料とも初期に急激に高くなる。その後の変化はゆるやかで、葉繊維の値は絞りかす繊維のそれに近づく。これは、葉繊維がその形態的特徴にもかかわらず、叩解によって柔軟性に富む形態構造をとるためであろう。

しかし、全般的にみれば、両試料の密度は叩解された通常の木材化学パルプの密度よりも低い。

図 9 に叩解による不透明度の変化を示す。両試料とも高い値を示し、叩解が進んでも若干低下するのみで

Fig. 9 Opacity changes on beating.

Fig. 10 Specific scattering coefficient changes on beating.

ある。特に葉繊維では保水度や密度の変化ほど変化せず、高い値にとどまっている。これは、この試料の形態的特徴のみならず繊維幅が小さいため、叩解により紙層内の表面積が減少しないためであろう⁹⁾。

また、全般的にみれば、両試料の不透明度は叩解した通常の木材化学パルプよりも高い値を示している。

図 10 に叩解による比散乱係数の変化を示す。未叩解では葉繊維の方が著しく高い値を示す。これは、管状繊維が紙層を形成するため繊維間結合面積が少ないためであろう。叩解が進んでも葉繊維の方が値が高く、結合面積は小さい。両試料とも密度が急激に高くなる叩解の範囲で値が低下して、結合面積が急増している。この範囲を過ぎると、結合面積の増加はゆるやかになる。

図 11 に叩解による裂断長の変化を示す。未叩解では葉繊維の方が密度や結合面積が少ないのにもかかわらず

Fig. 11 Breaking length changes on beating.

Fig. 13 Burst factor changes on beating.

Fig. 12 Elongation changes on beating.

Fig. 14 Tear factor changes on beating.

らず、絞りかす繊維よりも高い値を示している。これは葉繊維の方が平均繊維長が長く、また繊維自身が強いためであろう。叩解により両試料とも値が高くなる。この傾向は葉繊維において著しい。これは保水度、密度、繊維間結合面積などの急増が、引張強さの発現に大きく寄与していることを示唆する。また、得られた値は叩解した木材化学パルプのそれに匹敵する。絞りかす繊維では密度や結合面積が大きかったのにもかかわらず、全般に低い値を示す。これは繊維自身の強さが低いためであろう。

図 12 に叩解による伸びの変化を示す。未叩解では葉繊維が小さい。これは密度と結合面積が少ないため、繊維間のすべりが多く引張り応力を支えきれないためであろう。叩解により両試料とも伸びが大きくなる。これは密度や結合面積の増加とともに繊維間のすべり

が抑制され、繊維への応力の負荷が多くなるため伸びが大きくなるのであろう。叩解末期では伸びが減少している。この現象は次のように考えられる。この範囲の裂断長は葉繊維では変化なく、絞りかす繊維では増加していることを考慮すれば、叩解による繊維強度の低下のために結合強度が繊維強度に近づき、破断時における繊維間すべりよりも、より一層、繊維の破断が多くなったためと考えられる。

図 13 に叩解による比破裂強さの変化を示す。叩解による変化の仕方は図 11 の裂断長の変化と同じ傾向を示す。これは破裂強さが引張強さと同じ因子により発現しているためであろう。

図 14 に叩解による比引裂強さの変化を示す。未叩

解では葉繊維の方が著しく高い。これは密度や結合面積が少なく、また繊維長が長いためであろう。両試料とも叩解により高くなり、葉繊維では著しい。これは、密度や結合面積が増加し、引裂強さに最適な紙層構造になるためであろう。その後の値の低下は、密度や結合面積の増加と叩解による繊維の短小化などマイナス因子が発現するためであろう。叩解した木材化学パルプと比較すると、絞るかす繊維では同程度、葉繊維では著しく高い。

4. ま と め

“テキーラ”の原料植物であるアガベ・テキラーナの葉繊維と醸造工程で排出された繊維状絞るかすの化学組成や形態的特徴を明らかにし、パルプ化を行い、叩解による製紙適性の変化を検討した。結果を要約すると以下のものである。

1) 葉繊維は絞るかす繊維に比べて多量のアルカリ可溶物を含み、繊維素成分やリグニンが少ない。

2) パルプ化はアルカリ性亜硫酸塩法が適用できる。しかし、化学組成から予想される条件よりも強い処理が必要である。パルプ収率は、化学組成の相違を反映して葉繊維の方が低い。白色度は、残りリグニンが多いため絞るかす繊維の方が低い。

3) 平均繊維長と平均繊維幅は、それぞれ葉繊維で 1.7 mm, 10.3 μ m, 絞るかす繊維で 0.8 mm, 25.5 μ m である。各繊維の横断面の特徴は、葉繊維では細胞壁が厚くルーメンが小さく、絞るかす繊維では細胞壁が薄くルーメンが大きい。各繊維の繊維軸に対するフィブリルの配列は、葉繊維ではほぼ平行であり、絞るかす繊維ではヘリカルである。

4) 叩解による保水度の変化は、全般的には葉繊維

の方が低い。しかし、未叩解における両繊維間の大きな差は、叩解が進むと葉繊維の値は絞るかす繊維の値に近づく。これは葉繊維が内部フィブリル化を受け易いことを示す。

5) 密度の変化は保水度の変化に対応している。不透明度は両繊維とも高く、叩解であまり変化しない。これらの値を叩解した木材化学パルプに比べると、密度は低く、不透明度は高い。

6) 裂断長、比破裂強さ、比引裂強さは、葉繊維の方が絞るかす繊維より強い。叩解した木材化学パルプと比べると、葉繊維の裂断長、比破裂強さは同程度であり、比引裂強さでは絞るかす繊維が同程度であり、葉繊維のそれは著しく強い。

文 献

- 1) 高分子学会編“高分子実験学講座 8, 高分子材料試験法Ⅱ”, 共立出版 (1953)
- 2) H. E. Dadwell and A. J. Watson: “Formation and Structure of Paper” Trans. of the Symposium held at Oxford, September 1961, (Ed. F. Bolam), London, Technical Section of the British Paper and Board Makers' Association (Inc.), 1962, p. 537
- 3) A. A. Robertson and S. G. Mason: *ibid*, p. 639
- 4) 守屋正夫: 紙パ技協誌, **21**, (3), 141 (1967)
- 5) 山崎秀彦, 栗田利雄, 宮崎一正, 横溝秀尚, 森本正和: 紙パ技協誌, **34**, (4), 299 (1980)
- 6) H. W. Emerton: “Fundamentals of the Beating Process”, BP & BIRA, Kenley, 1957, Marshall Press Ltd., Milford Lane, strand, London, England, p. 166