Hemicellulose Fiber Assemblies from Arrowroot By-products of Industrial Waste

MATSUMOTO Yo-ichi^{a,*}, NISHIMATSU Toyonori^a, AZUMA Yoshiaki^b
MORI Shizuo^c, FUKUSHIMA Kazunari^d

^a Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University, Ueda, Nagano 386-8567, Japan

^b Nara Prefectural Institute of Industrial Technology, Nara 630-8031, Japan

^c Nara Prefectural Textile Industry Associated Federation, Nara 635-0015, Japan

^d Daiwabo Neu Co., Ltd., Osaka 541-0056, Japan

Received 14 June 2007; accepted for publication 13 September 2007

Abstract

In this century, “comfort”, “safety”, “user-friendly” and “green” are key concepts. Our newly-developed arrowroot fiber assembly produced from industrial waste meets all of those requirements and more. In order to make effective use of industrial waste and reduce the amount produced, as well as to improve our daily lives, we investigated the development of novel fiber assemblies made from arrowroot by-products. At its heart are two processes: a chemical treatment to extract spinning materials from arrowroot industrial waste and a mechanical treatment for making the fiber assemblies. Finally, this is the first birth of new arrowroot fiber and fiber assembly.

Key Words: Green, Arrowroot by-products, Arrowroot fiber, Arrowroot fiber assembly

廃棄葛根を用いたヘミセルロース繊維集合体の作製

松本陽一^{a,*}, 西松豊典^a, 東 義昭^b, 森 鎮雄^c, 福嶋一成^d

^a信州大学繊維学部, ^b奈良県工業技術センター, ^c奈良県繊維工業協同組合連合会, ^dダイワボウ ノイ (株)

1. 緒 言

近年、地球の温暖化や汚染・公害など環境問題と人体への影響が重要視される中で、新たな天然繊維素材の開拓・探求と新繊維の創製が盛んに行われている。そこで、産業廃棄物の削減と有効利用ならびに人間生活の向上を目的として、廃棄葛根を用いる環境調和型繊維集合体の創製について検討した。すなわち、廃棄葛根から紡績原料を得るための化学的処理方法および紡績原料から繊維集合体を作製するための機械的処理方法について実験を行った結果、葛根（かっこん）繊維および繊維集合体を作製することができた [1]。

葛は大和の国（現奈良県）国栖（くず）地方が葛粉の産地であったことから命名されたという。葛はマメ科クズ属に属する多年草で、1日に10 cm、1年で10 mにも生長する蔓性植物であり、河原や野原で他の木などにかみついて繁茂している。また、古来より人間生活と深くかかわってきた植物で

あり、その花・葉・蔓・茎・根の全てが利用できる大変有益な植物である。すなわち、Fig. 1-(1)に示した葛の花は高尚優雅を誇り、古くから秋の七草の一つにも数えられ、お茶花としても親しまれており、煎じたものは二日酔いの嘔吐緩和などを目的とした薬草・漢方薬としての効果がある。また、Fig. 1-(2)に示した葉は家畜の飼料となり、蔓は強靱で、民具を作るときの材料とされ、茎の靱皮繊維は葛布（かっぷ・静岡県掛川市特産・民芸品・古代布）の原料として用いられてきた。さらに、Fig. 1-(3)に示した葛の根は多量の澱粉を含んでおり葛澱粉が採れ、その葛粉は葛きりや葛餅などのお菓子づくり、ならびに高級な日本料理や京料理の材料として日本独特の文化のみならず、奈良県をはじめ全国の葛・和菓子産業をも支えている。加えて、葛根（かっこん）は平安時代から薬用として珍重されており、現在でも解熱の漢方薬や風邪薬の原材料として葛根湯などに使用されている。また、葛にはイソフラボン誘導体であるダイゼイン・ダイズイン・プセラ

* 連絡先：信州大学繊維学部 386-8567 長野県上田市常田3-15-1

E-mail: y1matsu@gipic.shinshu-u.ac.jp, TEL: +81-268-21-5363, FAX: +81-268-21-5365

(1) Flower [2]

(2) Leaf and vine [2]

(3) Root [4]

(4) Kudzu starch [4]

Fig. 1 Arrowroot.

リン等が微量成分として含まれ、これらの成分には発汗，解熱，鎮痙作用があり，イソフラボンは血中コレステロールの低下に役立ち，体内カルシウムのコントロールを助けるので，骨粗しょう症や更年期障害などにも有効と言われている [3]．

Fig. 1-(4) に示した葛粉は葛根を細かく碎き，搾り，澱粉を抽出・精製することによって得られるが，一般に葛根 100 kg から葛粉 7 kg といわれるほどに，非常に少量しか得ることができず，「白い金」とか「白いダイヤモンド」とも呼ばれている．しかしながら，この葛粉製造工程から排出される搾りかす，すなわち廃棄葛根が多量に発生することが問題となっている．特に，吉野葛の本場・奈良県における廃棄量は毎年約 1,000 t にも達している．すなわち，近年における地球の温暖化や汚染・公害など環境問題と人体への影響が重要視される中で，毎年多量に排出される廃棄葛根，すなわち“葛澱粉の搾りかす”に対する処理方法の検討と確立が大きな課題であり，対応策の検討も急務となっている．

そこで，21 世紀のキーワードである「環境・安全・快適」を考慮して，産業廃棄物の削減と有効利用を図るとともに，奈良県からの発信材料の作製，および新しい天然繊維素材の探求・創製を目指して，葛根繊維集合体の作製について検討した．

2. 実験

2.1 材料

葛粉の製造工程から排出された廃棄葛根は，Fig. 2 に示し

たように茶褐色で，泥や表皮などの夾雑物を多く含み，束になり，固まった状態をしており，このまま紡績原料として紡績工程へ導入して，繊維集合体を作製することはできない．一般に植物の主成分は，セルロース 45 %，ヘミセルロース 30 %，およびリグニン 25 % である．セルロースは古くから繊維の素材や原料として使用されており，綿の種子毛繊維や麻の靱皮・葉脈繊維などが代表的であるが，葛茎や芭蕉葉，材木チップなども繊維化され利用されている．ヘミセルロースはセルロースに類似した化学構造をもつ鎖状多糖類であるが，似て異なるものであり，この繊維は未だ作製されていない．リグニンは接着剤の働きをもち，樹木などの褐色部に多く含まれている．

まず廃棄葛根を原材料として，水洗い・洗浄によって，泥や表皮などの夾雑物を丁寧に取り除いた葛根を得た．ついで

Fig. 2 Industrial waste of arrowroot.

この葛根原料に対して、脱リグニン、アルカリ、柔軟剤、ならびにペクチン酵素による各処理を用いた化学的処理方法で紡績原料化を行うことによって、葛根繊維を得た。さらに、得られた葛根繊維を機械的処理方法によって紡績し、繊維集合体を作製した。しかしながら、葛根繊維の専用紡績機は存在しないために、既存の紡績機械を援用する必要がある。

2.2 方法

2.2.1 化学的処理

(1) 洗浄およびアルカリ処理法

原材料の洗浄および水酸化ナトリウム溶液 (NaOH) を用いたアルカリ処理はつぎの方法で検討した。① よく乾燥した葛根は流水を用いて約6時間、泥や夾雑物などを丁寧かつ十分に除去し、乾燥させて原材料とした。② 原材料5 gを濃度1~30%の水酸化ナトリウム水溶液 (一定温度95℃) に対して、浴比1:50で1~6時間浸漬・煮沸処理した。③ 処理後、直ちに流水で20分間、丁寧に原料のぬめりや夾雑物を除去した後、室温において1日間自然乾燥した。

(2) リグニン処理法

リグニン処理法はつぎのように検討した。① 原材料の葛根には、サンプルAとして短繊維 (平均繊維長28.3 mm, 平均繊度10.0 tex), およびサンプルBとして長繊維 (平均繊度66.1 mm, 平均繊度10.1 tex) を用いた。両サンプルはともにアルカリ処理 (濃度25%, 95℃, 3時間) を施した材料, 各10 gである。② まず前処理として、塩酸0.01 mol/l, 浴比1:50, 液温度75℃で、1時間の処理を行った。③ ついで本処理として、亜塩素酸ナトリウム0.04 mol/l (添加0.002 mol/l), 液温度75℃, 3時間の処理を行った。なお、水量減少時には塩酸0.01 mol/lを添加した。④ 水洗い後、よく解した状態で室内にて3日間自然乾燥させた。

(3) 柔軟処理法

紡績柔軟剤の処理効果はつぎのように検討した。① 原材料にはアルカリ処理およびリグニン処理済の葛根を各2 g用いた。② 3種類の柔軟剤, すなわちビクロン (一方社油脂工業 (株)), トセノール (東海製油工業 (株)), ハミング (花王 (株)) の10%溶液をそれぞれに作製した。③ 液温度35℃, 浴比1:50の条件で、1時間の処理を行った。④ 手で軽く脱水後、十分に解し、室内にて3日間自然乾燥させた。

(4) 酵素処理法

廃棄葛根の細繊維化と柔軟化を図るために、各種のペクチン分解酵素について検討した。① ペクチン分解酵素には、ペクチナーゼXP-534 (ナガセ製, 最適条件: pH 7~8, 40~50℃), ペクチナーゼG (アマノ製, 最適条件: pH 4~5, 40~50℃), ペクチナーゼSS (ヤクルト製, 最適条件: pH 3~5, 40~50℃) の3種類を用いた。② リグニン処理済みの葛根繊維5 gを250 mlの水に入れ、各ペクチン酵素のpH調整を行った。③ 各種のペクチナーゼを0.05% (0.125 g/250 ml) 加

Fig. 3 Miniature flat carding frame.

え、50℃の湯浴に中で1時間の処理を行った。

2.2.2 機械的処理

葛/綿混合原料を用いてつぎの紡績工程を検討した。① 化学的処理済の葛根繊維と綿繊維はそれぞれにハンドカードを用いて優しく丁寧にほぐした。② Fig. 3 に示した綿紡用ミニチュアフラットカード機では、フィードテーブル上において綿繊維/葛根繊維/綿繊維の三層状態をつくり、計30gを供給した。③ 第一回混綿ラップはリバース状態でカード機に再度供給して、第二回ラップを得た。

また、④ 葛根繊維と綿繊維の含有量は10/90~90/10%まで変化させて供給することによって、上記①~③の紡績法を検討した。さらに、⑤ 綿紡用ミニチュアフラットカード機のモータにインバータを取り付け、シリンダ回転速度を変化・調整する場合についても、葛根繊維60%と綿繊維40%の繊維含有率を用い、上記①~③の紡績法を検討した。ただし、カード機各部における回転比は一定とした。

2.2.3 単繊維と繊維集合体の測定

JIS試験法L1015あるいはL1019に準拠して、得られた葛根の単繊維および繊維集合体の諸特性を測定した。葛根単繊維における平均繊維長と平均繊度の測定は無作為に採取した単繊維200本の測定を1回として全試験回数5回の条件で、計1000本についての平均値を採用した。また、葛根繊維群2 gをガラス容器に入れ、重錘105 gで蓋をかぶせるように荷重し、繊維群の高さを読取ることによって、圧縮率(%) = $100 \times (\text{荷重時瞬間高さ} - 5\text{分後高さ}) / (\text{荷重時瞬間高さ})$ から算出した。さらに、繊維群の白色度はJIS試験法L1916に準拠して、ミノルタ製色彩色差計CR-100を用い、繊維総重量15 gを円筒型容器 (内径70 mm, 高さ100 mm) に敷き詰めた状態で測定することを5回繰り返した後、その平均値を採用した。一方、単繊維と紡績糸の引張試験にはインストロン型引張試験機を用いた。なお、単繊維は試長10 mm, 引張速度1 mm/min, 試験回数54本の条件, リング糸は試長25 cm, 引張速度300 mm/min, 試験回数30本の条件, オープンエンド糸は試長50 cm, 引張速度300 mm/min, 試験回数20本の条件で、それぞれに測定した。

3. 結果と考察

3.1 化学的処理による葛根繊維の作製

Fig. 4は水酸化ナトリウム水溶液の濃度と葛根の重量減少率との関係を示す。95℃、1時間のアルカリ処理において、水酸化ナトリウム濃度の増加と共に、葛根の重量減少率は増加し、水酸化ナトリウム濃度23～25%において重量減少率が急激に減少した。ついで、Fig. 5はアルカリ処理時間と葛根の重量減少率との関係を示す。水酸化ナトリウム濃度23%において、95℃でのアルカリ処理時間の増加とともに、葛根の重量減少率が増加し、5～6時間の処理では葛根の約85%が溶けてしまった。一般に、綿繊維などのセルロースはアルカリに溶解しないが、葛根は多量のヘミセルロースを含有するために溶解する。すなわち、葛根の主成分はセルロースやリグニンなどが約15%と非常に少なく、ヘミセルロース等が約85%と非常に多いことが分かった。

ついで、Fig. 6はアルカリ処理時間（23% NaOH, 95℃）と葛根集合体の圧縮率との関係を示す。水洗い・洗浄後の葛

Fig. 4 Relationship between weight loss of arrowroot and concentration of NaOH.

Fig. 5 Relationship between weight loss of arrowroot and treatment time.

Fig. 6 Relationship between compressibility and treatment time of arrowroot.

Table 1 alkali-treated arrowroot.

	Treatment time (hr)			
	0	2	3	4
Mean fiber length (mm)	20.5	15.4	14.8	13.3
Mean fiber fineness (tex)	11.1	8.2	7.4	7.8

根繊維群における圧縮率は約3%であったが、3時間のアルカリ処理によって圧縮率は約17%に増加した。さらに、4時間処理では圧縮率が約10%まで減少しており、ヘミセルロースの溶解による細繊維化に続き、短繊維化が起こるために圧縮率が大きく低下したものと予想する。また、Table 1は同アルカリ処理時間ともなう葛根の平均繊維長と平均繊維度の変化を示す。アルカリ処理時間の増加とともに、平均繊維長と平均繊維度はともに減少傾向を示すが、処理時間4時間では平均繊維度の増加がみられ、葛根繊維の細繊維化と短繊維化が確認できるとともに、葛根繊維のセルロースはかなり短くなった。すなわち、葛根はヘミセルロースを多量に含むために、アルカリ処理時間の調整によって葛根の繊維度を減少できるが、容易にその繊維長さも減少することが分かった。

したがって、水酸化ナトリウム溶液の濃度と処理時間を用いて、葛根中のヘミセルロース量を微妙に調節しながら、紡績に必要な細くて、長い繊維をつくる必要がある。しかしながら、廃棄葛根原料は採取された天然葛根の大きさや太さ、ならびに葛粉の製造方法や製造業者にも依存する傾向が強いため、ほとんど安定しておらず、入手した原材料にあわせて適度なアルカリ処理が必要となろう。これまでに得られた様々な製造業者からの原料で実験した結果、若く細く短い葛根に対してはアルカリ濃度15%以下における短時間の適温処理であり、逆に老いた太く長い葛根に対してはアルカリ濃度15%以上における長時間の煮沸処理が適当であることもわかった。

Table 2はリグニン処理前後の葛根における平均繊維長と平均繊維度を示す。サンプルA・Bともに、平均繊維長と平均繊維度がほとんど変化しておらず、リグニン処理は繊維長と繊維

Table 2 Lignin-treated arrowroot.

	Sample A	Sample B
Before treatment		
Mean fiber length (mm)	28.3	66.1
Mean fiber fineness (tex)	10.0	10.1
After treatment		
Mean fiber length (mm)	28.3	65.4
Mean fiber fineness (tex)	9.0	7.1
Mean weight loss (%)	25.6	23.0

度にほとんど影響を及ぼさないことがわかった。また、Fig. 7 は処理前後における葛根繊維写真である。水洗い・洗浄後の写真(1)とアルカリ処理後の写真(2)の比較において、葛根繊維の色はほとんど変化していない。一方、リグニン処理後における葛根繊維の写真(3)ではリグニンが完全に除去できており、ほぼ真っ白になっている。またその平均白色度は64.9であり、水洗い・洗浄後の葛根における平均白色度23.4と比較して大きく向上した。しかしながら、廃棄葛根原料は採取された天然葛根の大きさや太さ等に依存するために、入手原料にあわせた適度な脱リグニン処理が必要となろう。すなわち、若く細く短い葛根に対しては低濃度・短時間の処理、逆に老いた太く長い葛根に対しては高濃度・長時間の処理である。

Fig. 8は処理前後における葛根繊維の走査型電子顕微鏡 (SEM) の写真を示す。ただし、SEMは日立製作所製S-2380Nを用いて、加速電圧5 kV、倍率500倍で撮影した。水洗い・洗浄後およびリグニン処理後における葛根繊維の表面形状には大きな変化が見られないが、アルカリ処理後においてはその表面形状と細繊維化に大きな違いが見られ、水酸化ナトリウムの影響が確認できる。

さらに、各種の柔軟剤による葛根繊維への効果はつぎのとおりであった：①ビクロンでは付着量10.5%，薬剤臭がなく、柔らかな状態で、白色の繊維であった。②トセノールでは付着量22.0%，薬剤臭があり、少し柔らかい状態で、薄い黄色の繊維であった。③ハミングでは付着量7.50%，粗剛な状態で、薄い水色の繊維であった。それぞれの効果と色は実験者等による手触り感覚と視覚、臭覚によるものであるが、ビクロン処理は葛根繊維の柔軟性向上に効果があるものと考えられる。

Fig. 9は酵素処理前後における葛根繊維のSEM写真を示す。未酵素処理・リグニン処理済みの葛根繊維との比較において、3種類のペクチナーゼ (XP-534, G, およびSS) で酵素処理した葛根繊維は、ともに表面のカルシウム分が多く析出し、細胞間のペクチン質が分解されていた。なお、水洗い・洗浄後の葛根繊維ではペクチン成分が約5%であった。酵素処理済みの葛根繊維は、未酵素処理・リグニン処理済みの

Fig. 7 Arrowroot before and after treatment.

Fig. 8 SEM of arrowroot fiber.

Fig. 9 SEM of arrowroot fiber.

Table 3 Experimental card lap.

Cylinder (rpm)	Weight						Fiber			
	Adhesion (g)	CV%	Falling (g)	CV%	Lap (g)	CV%	Mean length (mm)	CV%	Mean fineness (tex)	CV%
316.2	7.1	10.2	11.6	8.1	11.3	5.0	26.9	1.6	7.0	10.1
608.6	4.9	28.2	13.5	11.3	11.6	4.4	28.3	6.8	7.3	4.5
684.0	3.8	21.6	14.4	8.5	11.8	8.4	26.0	1.7	6.5	4.9
760.2	4.0	23.8	13.4	8.4	12.6	6.5	29.7	2.7	7.7	6.6
837.6	3.6	13.2	14.4	9.0	12.0	8.3	27.3	15.5	6.2	17.3
910.4	3.4	20.4	15.3	12.9	11.3	13.5	26.8	1.8	6.7	8.5

葛根繊維と比べて、乾燥後においても繊維が固まらずにほぐれやすく、さらさらとした感じであった。また、酵素処理済みの葛根繊維では白色度が向上しているようにもみえた。したがって、ペクチン分解酵素による処理はリグニン処理やアルカリ処理との併用によって、葛根繊維のさらなる細繊維化と柔軟化に効果的であると考ええる。

以上のことから、廃棄葛根は適当な化学的処理を施し、微量なセルロースを含有するヘミセルロース量を微調整することによって、ヘミセルロース繊維として紡績原料化できることがわかった。

3.2 機械的処理による葛根繊維集合体の作製

まず、化学的処理済の葛根繊維を綿紡績用ミニチュアフラットカード機へ通したところ、葛根繊維はほとんど落下してしまい、カードラップを作製できなかった。ついで、葛根繊維と綿繊維からなる混綿原料を用いて実験したところ、葛根繊維の含有量10～90 %においてカードラップを作製できた。なお、葛根繊維は平均繊維長35.3 mmと平均繊度18.4 tex、綿繊維は平均繊維長26.3 mmと平均繊度1.3 dtexであった。しかしながら、できあがったカードラップの作製量は約30 %と非常に少ないものであった。また、試作ラップ中の葛根短繊維の性状を調べたところ、供給前と比較して平均繊維長が約半分と大きく減少していた。

そこで、葛根繊維における平均繊維長の減少と作製量の増加を図るために、カード機におけるシリンダ回転数の影響を調べた。なお、通常運転におけるシリンダ回転数は910.4 rpmである。Table 3は試作ラップの性状とラップ中の葛根繊維

について示す。まずいずれのシリンダ回転数においても、カード機各部での付着繊維量はテークイン部、フラット部、シリンダ部、フィードローラ部の順に減少し、また落下繊維量ではテークイン部下、シリンダ部下、ドロッファ部下の順に減少しており、テークイン部での付着量と落下量が多かった。ついで、シリンダ回転数の増加とともに、各部で付着した総繊維重量は減少し、逆に落下した総繊維重量が増加するために、試作ラップの総重量が二次曲線的に変化した。すなわち、シリンダ回転数760.2 rpmにおいてラップ作製量が多く、歩留まりも44.0 %と向上した。また、葛根における繊維長の減少を抑えながら細繊維化を実現でき、平均繊維長29.7 mmと平均繊度7.7 texのカードラップが作製できた。したがって、フラットカード機のシリンダ回転数は葛根繊維の平均繊維長と作製量に大きく影響を及ぼすことが分かった。さらにカードラップ中における葛根繊維長の減少を抑えて、作製量の増加を図るためには、シリンダ回転数の調整だけでなく、各部における回転数やゲージなどの調整も必要であろう。

綿紡用リング精紡機を用いて、葛根繊維含有率40～60 %で綿繊維との混綿スライバ供給によって、平均番手84.4 tex (7 Ne)、平均撚数10.58 turns/2.54 cmの葛／綿混紡糸が作製できた。さらにオープンエンド精紡機を用いて、葛根50 % / 綿50 %の繊維含有率から作製した混綿スライバ供給において、平均番手59.1 tex (10 Ne)、平均撚数17.8 (turns/2.54 cm)、U% = 20.4の繊維集合体を作製できた。Fig. 10は試作オープンエンド糸を示す。また、Table 4は試作紡績糸の機械的性質を示す。一方、葛根単繊維では平均切断強度0.06 (N/tex)、平均伸度3.1 (%)であった。

したがって、化学的処理を用いて適度な長さや太さに調整

Fig. 10 Arrowroot open-end spun yarn.

Table 4 Experimental spun yarn.

Fiber composition arrowroot/cotton (%)	Breaking strength (N/tex)	Breaking elongation (%)
Ring spun yarn		
40 / 60	0.89	14.5
50 / 50	0.82	13.2
60 / 40	0.65	11.6
Open-end spun yarn		
50 / 50	0.06	5.8

した葛根繊維，すなわちヘミセルローズ繊維は綿紡績工程を援用し，各種の紡績機械を調節・改良することによって，繊維集合体を作製できることがわかった．しかしながら，紡績工程中において葛根繊維の損傷が激しく，微細化することも多いために，葛根繊維の長繊維化と細繊維化に加えて，高強度化についての検討も必要であろう．

4. 結 言

産業廃棄物の削減と有効利用を図るとともに，奈良県からの発信材料の作製，ならびに新規天然繊維素材の探求・創製を目的として，新規“ヘミセルローズ”繊維集合体は作製できることがわかった．

今後は葛根繊維の細繊維化と高強度化を実現させることによって，100 % 葛根繊維集合体の創製を目指して行きたい．すなわち，廃棄葛根の削減と有効利用ならびに環境問題への対応が具現化できるだけでなく，葛根に含まれるイソフラボン誘導体の効用や生分解性，低刺激性，天然素材の有用性などを活用した新しい繊維製品を製造することによって，衣料のみならず農業用資材や医療用などへの用途拡大が大いに期待できるものと考ええる．また，来る2010年には“奈良遷都1300年”の一大イベントを迎えるにあたり，奈良県における経済効果も大きいものと期待できる．

謝 辞

本研究を遂行するに際し，実験にご協力いただいた信州大学繊維学部・松本 豊氏，野上将弘氏，上谷田和彦氏，大林正佳氏，ならびに奈良県工業技術センター・辻坂敏之氏，若子倫菜氏に深く感謝いたします．

References

- [1] Matsumoto Y, Nara Prefectural Textile Industry Associated Federation (2007) TOKUGAN 2007-79199
- [2] Aoki S (1995) HP, <http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp>
- [3] Kotaro (2007) HP, <http://www.kotaro.co.jp/kampo/syoyaku/kakkon.html>
- [4] TENGOKUDOU (2005) HP, <http://www.kudzu.co.jp>