

氏名	とう ちえん でい 塗 陳弟
学位(専攻分野)	博 士 (学 術)
学位記番号	博 甲 第 8 5 0 号
学位授与の日付	平成 29 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 先端ファイブ科学専攻
学位論文題目	Enzymatic Treatment and Characterization on Wool Fiber Cuticle (酵素処理による羊毛表面改質と特性評価)
審査委員	(主査)教授 鋤柄佐千子 教授 奥林里子 教授 西村寛之 准教授 安永秀計

論文内容の要旨

羊毛繊維に関して多くの研究成果が報告されているが、特に皮膚に接した時に生じるチクチクした不快感は依然未解決な問題として残っている。このチクチクした感覚に影響する主要因は、繊維直径と繊維の曲げ剛性である。これまで羊毛表面形状の化学処理等による改質で不快感の軽減が試みられてきたが、一方で羊毛繊維の特徴を損なう、また環境に負荷を与えるなど負の面も見られる。本研究の目的は、羊毛繊維の力学的特性や特徴である表面の疎水性と内部の親水性を保った状態で肌に刺激の少ない羊毛布作製に有効な繊維の表面改質方法を見つけることである。その際、羽毛を分解する酵素として報告されている新規の *Meiothermus ruber* H328 を用いて特にキューティクルの分解に着目した。

第 1 章では、羊毛繊維の構造や特徴と肌に接した時のチクチク感との関係からこれまで行われてきた羊毛に対する改質について言及し、本研究の目的と位置づけについて述べた。

第 2 章では、羊毛繊維、布に対する酵素処理についての先行研究を文献よりまとめ、本研究目的を達成するにあたり必要な要因について明確にした。

第 3 章では、羊毛繊維の表皮部分のキューティクルを分解する方法を検討した。キューティクルの主成分であるケラチンを分解するための酵素（ケラティナーゼ）は、*Meiothermus ruber* H328 から作製された Keratinase H328 である。この酵素を用いた羽毛の分解条件を参考に、羊毛の平均直径の異なる 3 種類のスライバーを用いて、酵素処理の有効性を、処理前後の重量減少量、SEM によるキューティクルの形状変化と繊維直径、アミノ酸分析によって調べた結果、分解が認められた。そこで、チクチク感に影響を与える最も繊維直径の大きい繊維（MFD24.5 μ m）から紡糸した糸を試料とし、繊維の分解の程度を酵素濃度、インキュベーションの時間を変化させ、重量減少量、SEM, FTIR-ATR, 伸長特性により調べた。その結果、伸長特性に変化が見られなかったことから、酵素処理は、繊維表面部分にのみ有効であった。最も分解が見られた処理条件は、Keratinase H328 の濃度 10-20%、インキュベーション時間は 1 から 2 日であった。この条件を用いて、この糸から作製した編み布の処理を行った。処理した編み布は、酵素を使用しないコントロールと比較し、重量減少量は大きく、収縮率は小さくなり、曲げ剛性はやや減少したが、

布の圧縮特性や表面摩擦特性への影響は顕著に見られなかった。Keratinase H328 の量が十分に得られないこと、活性が低いため、インキュベーション時間をこれ以上長くすることは実用的ではないため、酵素の組み合わせを検討する必要性にいたった。

第4章は、第3章の結果を踏まえ、第3章と同じ試料で、Keratinase H328 と Proteinase K を組み合わせて最適な処理条件を見つけることを試みた。評価は、第3章の項目に布の水分率及び接触冷温感の尺度値である初期熱流速最大値 q_{max} を新たに加えた。その結果、Keratinase H328 が初めに S-S 結合を切断し、その後の Proteinase K によって分解がより進むことがわかった。最も興味ある結果は、Keratinase H328 と Proteinase K を組み合わせた試料では、高湿度条件で、より水分を吸収することがわかった。その結果、 q_{max} 値は、90%RH 環境下で明らかに高くなり、 q_{max} 値が新たな指標として使えることを示した。

第5章では、 H_2O_2 処理で一旦スケールを剥離させた羊毛繊維に poly(acrylic acid) と dodecyl amine をグラフトさせて表面の撥水性を回復させる実験結果を示した。

第6章は、布の水分率と q_{max} 値の関係を調べ、表面の疎水性と内部の親水性を保った状態で肌に刺激の少ない羊毛布作製の評価値として q_{max} 値が有効であるかを検証した。試料は、繊維直径の異なる試料、織構造を同一にし、仕上げ処理によって表面の毛羽の状態を変えた試料、酵素処理によって繊維の表面を改質した試料である。20°C、環境湿度 65%RH, 90% RH 下で、水分率、繊維直径が q_{max} 、表面摩擦特性に及ぼす影響を明らかにした。酵素処理された布は、コントロールの試料と比較して表面の撥水性を保ちながら内部の親水性は保っていることがわかった。また、 q_{max} 値は皮膚に与える物理的的刺激を評価する際にも有効な測定項目になり得ることを示唆した。

第7章では、本論文で得られた成果と課題を結論としてまとめた。

論文審査の結果の要旨

羊毛布が皮膚に接した時に生じるチクチクした不快感は依然未解決な問題として残っている。本研究の目的は、羊毛繊維の力学的特性や特徴である表面の疎水性と内部の親水性を保った状態で肌に刺激の少ない羊毛布作製に有効な繊維の表面改質方法を見つけることである。その際、羽毛を分解する酵素として報告されている新規の *Meiothermus ruber* H328 から作製された KeratinaseH328 を用いて特にキューティクルの分解に着目している。論文は全7章から構成され、KeratinaseH328 がキューティクルをどの程度分解するかについて処理条件を変えて検討し、最適条件を見つけた。さらに、Keratinase H328 と ProteinaseK を組み合わせて処理を行うことで、処理時間を短縮することができた。試料は、スライバー、糸、布、いずれも繊維直径やテキスタイル構造は統制されており、評価は SEM, FTIR-ATR, 重量減少量、伸長特性、布の圧縮、表面特性、収縮率に加え、新たに水分率及び接触冷温感の尺度値である初期熱流速最大値 q_{max} を調べた。そして Keratinase H328 と Proteinase K を組み合わせた試料では、高湿度条件で、より水分を吸収することがわかった。その結果、 q_{max} 値は、90%RH 環境下で明らかに高くなり、 q_{max} 値が新たな指標として使えることを示している。

本論文の基礎となっている学術論文は、レフェリー制度の確立した雑誌に掲載されたものである。3篇は全て申請者が筆頭著者である。

1. Chendi Tu, Fusako Kawai, Kunihiko Watanabe, Kiyomi Okada and Sachiko Sukigara,

Keratinase H328 and Keratinase H328-Proteinase K treatments for Wool Surface, J. Fiber Sci. Technol., 73(6),126-134, 2017.

2. Chendi Tu and Sachiko Sukigara, Characterization of Wool Fabric Surface in Terms of Transient Heat Transfer, Journal of Fashion Technology & Textile Engineering, 5(3),1-6,2017.
3. Chendi Tu, Satoko Okubayashi, Fusako Kawai, Kunihiko Watanabe and Sachiko Sukigara, Water-free Chemical Treatment and Enzymatic Treatment of Wool to Change the Fiber Surface Morphology and Mechanical Properties, Proc. 13th Asian Textile Conference, 645-648, Geelong, Australia, 2015.

以上の結果より、本論文の内容は十分な新規性と独創性、さらに学術的な意義があり、博士論文として十分な水準を満たしていると審査員全員が認めた。