綿繊維の天然撚りに関する研究[I] — 世界各地で生産された綿繊維の旋光性の解析 —

武庫川女子大学 生活環境学科 上原真樹・阪上明日香・小野木禎彦

Studies on Convolution of Cotton Fiber [I] — Optical Rotation Analysis of Cotton Fibers Cultivated in Various Countries —

Masaki Uehara, Asuka Sakaue, and Yoshihiko Onogi

Department of Human Environmental Sciences, Mukogawa Women's University, Hyogo 663-8558, Japan

Abstract: Cotton fiber has its own complicated convolutions caused by helicoidal orientation of cellulose fibrils in the secondary cell membrane. This helicoidal orientation has been deduced to be caused by the earth's rotation during fibril development. To confirm this, the optical rotation power of cotton fibers cultivated in various countries was measured using a polarizing microscope. The optical rotation power of Z-type convolution parts in cotton fibers cultivated in the northern hemisphere was greater than that of the S-type convolution parts. On the other hand, for cotton fibers cultivated in the southern hemisphere, the optical rotation power of the S-type convolution parts was greater than that of the Z-type parts. This tendency was found to differ markedly for cotton fibers cultivated in areas located at different distances from the equator.
(Received 30 April, 2003; Accepted 30 March, 2004)

1. 緒 言

綿繊維の性質はその独特な繊維構造によるもので、化学繊維製造の手本となってきたが、現在の新合繊といえどもまだまだ超えることのできない神秘的な自然の造形物であると言っても過言ではない。一般に綿繊維の性質の良し悪しを決める要因は、綿繊維の長さ（太さ）と太さ（繊維度）、撚りの頻度といわれている。本研究では綿繊維の品質を決める要因の一つである撚りの生長過程を明らかにするために、複雑に撚れた綿繊維の微細構造と栽培環境の関係を調べることとした。

未乾燥の綿繊維の構造はよく知られているように、一番外側の1次細胞膜と内部の何層にも積層した2次細胞膜で構成され、繊維の中央には細胞液が満たされたルーメンが存在する[1]。この2次細胞膜のマイクロフィブリルがらせん状に肥厚生長することが原因となり、乾燥時に天然撚りが発生すると理解されている[2]。顕微鏡で綿繊維の表面や断面のみを観察しても、2次細胞膜の内部を詳しく調べ

ることは困難である。綿繊維に偏光を照射し、繊維、すなわち、2次細胞膜であるマイクロフィブリルを通過した光の旋光性を偏光顕微鏡を用いて測定すれば、綿繊維の内部構造に関する新しい知見が得ることが期待される。綿繊維の生長には栽培環境が影響していることが知られている。しかしながら、繊維の肥厚生長が地球の自転にどのように影響しているかについての報告は見当たらない。そこで、影響の有無を明らかにするために、栽培地の緯度の異なる世界各地で生産された綿繊維について、フィブリルのらせん構造により発現する旋光性の違いを、偏光顕微鏡を用いて測定し、比較検討することにした。

2. 実験

2.1 試料

世界各地で栽培された綿繊維は日本綿業振興会と東洋紡（株）から譲り受けた。入手した15種類の試料をTable 1にまとめた。この表には品種と文献[3, 4]より調べた産

Table 1 Cotton Fibers Produced in Various Countries.

Species	Produced Country	Latitude (°)	Fineness (μm)	Period for one convolution	
				Z type (μm)	S type (μm)
<i>Gossypium hirsutum</i>	Argentina	50	17.8	234	241
	Australia	30	17.6	216	232
	Brazil	20	18.7	265	273
	China	45	17.4	222	234
	El Salvador	13	19.2	233	226
	Guatemala	15	18.1	178	184
	Japan	35	19.7	238	256
	Nicaragua	12	18.0	220	199
	Pakistan	30	19.3	241	235
	Russia	42	17.7	186	188
	U.S.A	30	17.7	259	233
<i>Gossypium barbadense</i>	Barbados	12	15.3	292	288
	Egypt	30	17.5	246	262
	Peru	15	17.6	204	221
	Sudan	15	19.1	234	243

地の緯度、そして試料の各 20 本の繊度と Z 撚りと S 撚りの 1 周期当りの長さの平均値を示してある。

2.2 試料作成

旋光角測定用試料は、乾燥綿繊維をスライドガラス上に両端を接着テープで貼りつけて作成した。なお、試料数はそれぞれの綿繊維 30 本とした。

2.3 偏光顕微鏡

旋光角測定は Nikon 偏光顕微鏡（日本光学：OPTIPHOT-POL）を用いて行った。偏光顕微鏡には偏光板 2 枚（偏光子と検光子）と鋭敏色板が装備され、さらに、検光子を 180°回転させることができる。また、鋭敏色板を光路に差し込むことにより、撚りのセンスを簡単に偏光色より確認することも可能である。測定の際、肉眼で判定しにくい撚りは、この鋭敏色板を挿入した時に発現する黄色と青色の干渉色の違いから評価した。すなわち、繊維の Z 撚り部分は青色で、S 撚り部分は黄色であった。なお、測定時の偏光顕微鏡の接眼レンズを 10 倍、対物レンズを 40 倍に固定し、拡大倍率を 400 倍ですべての測定を行った。

2.4 旋光角測定方法

Fig.1 に、偏光顕微鏡による綿繊維の旋光角測定の光学系を示した。図の中央には綿繊維が描かれている。偏光顕微鏡の偏光子を図に示したとおりに P 軸の方向（90°）に固定して、検光子を回転してクロスニコルの状態（0°）にした。次に綿の単繊維試料をセットしたスライドガラス

を顕微鏡のステージに載せ、ステージを回転させて綿繊維の繊維軸を検光子の方向に一致させた。検光子を回転させて繊維を通過した光が最も暗くなる位置（消光位）で検光子を止め、この時の回転角、図中の 0°から A までの角度の値を旋光角度として副尺を使って読み取った。

1 本の繊維に対して 5 箇所、1 箇所当たり 5 回測定を行い、合計 30 本の平均値を求めた。1 本の繊維では、S 撚りおよび Z 撚りともそれぞれ 5 箇所ではほぼ等しい値となった。すなわち、旋光角の大きな値を示す繊維は 5 箇所とも大きな値が測定された。なお、測定は温度 25℃±2℃、湿度 65%±2%で行った。

3. 結果および考察

旋光角の測定結果を Table 2 と Table 3 にまとめた。結果は、北半球で栽培された綿繊維はすべて Z 撚り部分の旋光度が大きく、一方、南半球では S 撚り部分の旋光度が大きいことが判明した。また、Fig.2 に *hirsutum* 種、Fig.3 に *barbadense* 種の綿繊維についての Z 撚り部分と S 撚り部分の旋光角の絶対値の差を求め、栽培地の緯度との関係を図示した。なお、この図で北半球産の測定結果を○で、南半球産を△でプロットした。縦軸は北半球産、あるいは、南半球産の S と Z 部分の旋光角の絶対値の差で、横軸は生産地の緯度である。したがって、横軸の緯度 0°は赤道とな

Fig.1 Optical system for Optical Rotation Angle Measurement.

Table 2 Optical Rotation Angle of Cotton Fibers (*Gossypium hirsutum*).

Hemisphere	Produced Country	Latitude (°)	Optical Rotation Angle		Lager Optical Rotation	Difference (°)
			S type part (°)	Z type part (°)		
North	China	45	-54.8	58.9	Z	4.1
	Russia	42	-57.7	61.6	Z	3.9
	Japan	35	-30.7	36.7	Z	6.0
	U.S.A	30	-59.3	63.1	Z	3.8
	Pakistan	30	-56.0	58.8	Z	2.8
	Guatemala	15	-57.7	59.6	Z	1.9
	El Salvador	13	-62.4	63.2	Z	0.8
	Nicaragua	12	-76.3	77.3	Z	1.0
the equator		0				
South	Brazil	20	-54.9	52.6	S	2.3
	Australia	30	-34.3	30.1	S	4.2
	Argentina	50	-70.8	66.3	S	4.5

Table 3 Optical Rotation Angle of Cotton Fibers (*Gossypium barbadense*).

Hemisphere	Produced Country	Latitude (°)	Optical Rotation Angle		Lager Optical Rotation	Difference (°)
			S type part (°)	Z type part (°)		
North	Egypt	30	-64.1	67.8	Z	3.7
	Sudan	15	-56.9	59.4	Z	2.5
	Barbados	12	-71.5	73.6	Z	2.1
the equator		0				
South	Peru	15	-41.4	36.2	S	5.2

る。この図より緯度が大きくなるほど、すなわち、赤道から遠ざかるほど、S 撚りと Z 撚りの旋光度の差は大きくなることが判る。図中には便宜上、回帰分析で求めた直線を点線で示した。結果が少しばらついているが、このばらつきは綿の栽培地の緯度の決定に原因があったものと考えられる。

地球の自転の影響で、わずかではあるが、地球上では遠

心力とコリオリ力の見かけの力が作用するといわれている。V.D.Barger と M.G.Olsson は「浴槽の中に生じる渦のようにずっと小規模な渦では、コリオリの力の直接的な影響は余り大きくない。それにもかかわらず、北半球ではこれらの渦がよく時計の針と反対の向きにまわっていることがあるのは、偶然にそのための運動条件（コリオリの力を除く）が整ったためであるにすぎない。」と述べている[5]。多

Fig.2 Effect of Production Area of Cotton on Fiber Structure (*Gossypium hirsutum*).

くの場合、渦の発生は地球の自転の影響を受けていると述べており、このことから綿の生長過程においても同様な力が働くと考えられる。綿繊維フィブリルは水分を多く含んだコットンボールの中で生長する。湿度の高いコットンボールの中で、しかも一本の繊維中の細胞液の中でフィブリルの生長が起こるため、フィブリルが地球の回転の影響を受け、ZおよびSらせんの形成に難易の差が生じたのではないかと考えられる。すなわち、Fig.2 と Fig.3 の結果は、らせんの形成は地球の自転により北半球ではZ撚り（右回り）のらせんが形成されやすく、逆に、S撚り（左回り）が形成されにくいことを示していると考えられる。南半球では反対に、S撚り（左回り）のらせんが形成され易く、Z撚り（右回り）が形成されにくいことを示しているのではないかと現在のところ考察している。

4. 結論

世界の綿花の天然撚りに及ぼす生産地の影響について旋光角で調べた結果は次の通りである。

1) 北半球で生産された綿繊維は、Z撚り部分の旋光角がS撚り部分の旋光角に比べ大きく、一方、南半球のそれらは逆の関係が認められた。

Fig.3 Effect of Production Area of Cotton on Fiber Structure (*Gossypium barbadense*).

2) 綿繊維中のS撚りおよびZ撚り部分の旋光角の絶対値の差は、生産地が赤道から遠ざかるほど大きくなった。

3) これらの結果より、綿繊維のフィブリルが、らせん状に配向する繊維の生長には、地球の自転の影響が考えられる。

本研究を行うにあたり試料を提供して頂いた日本綿業振興会と東洋紡（株）に感謝申し上げます。

参考文献

1. R.T.O'Connor : “ The Fine Structure of Cotton ” , Marcel Dekker, Inc., New York, p72-183 (1973) .
2. R.J.Crawford and P.Benham, J.Mater, **9**, 18 (1974) .
3. Akira Hibi, “ Naze momen ? menseihin no mamechisiki ”, Japan Cotton Promotion Institute, p43-54 (1994) .
4. Eiji Aoyanagi, “ Bertelsmann World Atlas ”, Shoubunsha, Tokyo, (2000) .
5. V.D.Barger and M.G.Olsson, (translation : Morikazu Oda, Yukiko Tagami), “ Classical Mechanics - A Modern Perspective - ”, Baifuukan, Tokyo, p184 (1975).