

家蚕繭の光学的性質における性差

第1報 繭層の総合分光特性

二ノ方兼武

The Sexual Difference in the Silk Worm Cocoons relative to the Optical Properties

I. Composite Spectro-characteristics of Cocoon Layers

Kanetake NINOKATA

(Laboratory of Agricultural Physics)

I 緒 言

養蚕業の蚕種製造過程における家蚕繭の雌雄鑑別は、确实には肉眼による方法以外にはない。近来労務事情の逼迫に伴い雌雄分離行程の合理化が採り上げられながら、僅かに繭重の差による雌雄分離法¹⁾²⁾³⁾以外に未だ適当な方法は見出されていない。繭重による方法は、一般に雌繭が雄繭より重いことを利用するのであるが、しかしこの方法も中間の重さの部分で両者重なり何れとも判別できない部分が全体の30 [%]~40 [%]位も生じ、結局肉眼による方法を並用しなければならないことになる。

筆者は家蚕繭の分光透過特性または分光反射特性によってその総合的性差をしらべ、或は螢光、燐光作用等の有無をしらべ、これによって雌雄分離が可能か否かを検討することにした。

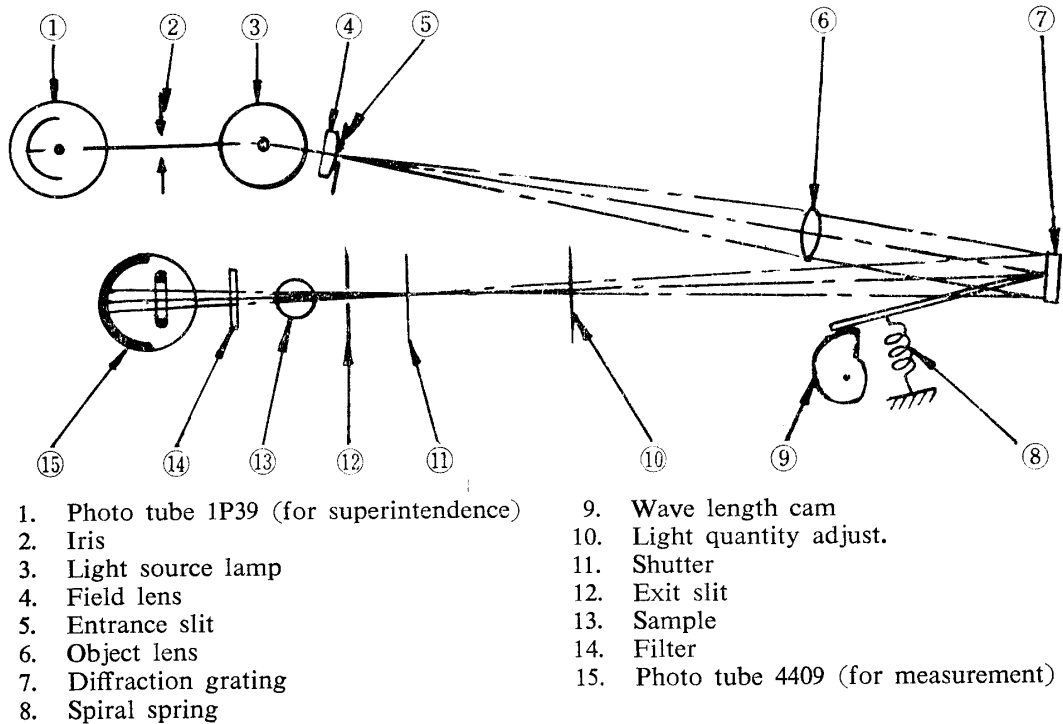
近来アメリカでは鶏卵中の血液の有無、林檎、馬鈴薯等の成熟度、品質などを光学的に数階級に選別する装置⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾がいろいろ開発されているが、測定装置のうち最も注目されるのは示差法に用いる *differencemeter*⁸⁾ である。これらの方法は葉緑素の多少、芯における異状等によって明瞭に選別できるものであるが、蚕蛹のばあいは多数成分系より成ること、その大きさが比較的小さく不同であり、更に繭の中には入っていることなどから困難が予想される。ここにはまず測定装置自体について検討し、分光光度計の性能上繭層のみの透過率についてしらべることにした。

II 測定用装置

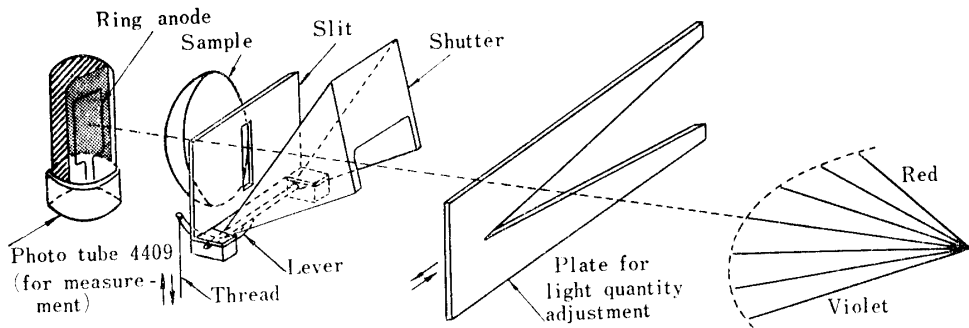
分光光度計⁹⁾¹⁰⁾には種々あるが、ここには価格と機能を考慮して、島津ボシュロム回折格子形分光光電光度計“スペクトロニック20”を用いることにした。

1. 光学系 Fig. 1 (a) のように tungsten lamp の光源から出る白色光を回折格子により spectrum に分散して、出口 slit で単色光をとり出し、試料を通過させた透過光を光電管に導くものである。測定用光電管の外にもう一つ監視用光電管を用いて光源光束の一部を入れ、これに変化が生ずれば光源の明るさを自動的に補償して一定に保つような複光路形になっている。

Fig. 1 (b) には単色光が回折格子を出て試料を透過し光電管に入るまでのようすを示す。図に示すように分散された光の spectrum は $2.7 [mm] \times 13 [mm]$ の出口 slit を有する黒い screen によって遮ぎられ slit の巾によってきまる帯域の波長だけを通す。波長に対して分散と分解能はほぼ一様であるので、出口 slit の巾できまる単色光の波長帯域巾は、何れの波長においてもほとんど一定でこのばあいは $20 [m\mu]$ になる。縦の長さの方向には波長の変化はない故、光量調節は楔状に切り抜いた板を図のように出し入れして行うことができる。



(a)



(b)

Fig. 1. (a) Skeleton diagram in the optical system.
 (b) Diagram of monochromatic light action, after having passed through the diffraction grating.

一般に tungsten 白熱灯は最良の光源で、これ以上のものは得られないとされており、ある波長で最大放射 energy をもち、その最大値は filament 温度が高くなるにつれ波長の短い方に移り電球の光効率が増加する。filament は coil 状にして球外に放散する熱損失を少なくし、輝度を高くする。しかし、実際のばあい、有効寿命までの使用時間の経過と共に、電力、効率、光束は漸次低下するので、定格値より低い電圧で用いれば、電流、電力、効率、光束は初めから少し低下するが、その変化が少く、有効寿命を数倍乃至数十倍に延ばすことができる。

なお、測定の便宜上 shutter 用 lever の先端に小さな孔をあけて、これに糸を通して外に導き出し、糸を引けば任意に shutter を開き、糸をゆるめれば shutter は重力で自然に閉じるようにし、試料を光路に保持したまま開閉装置の操作ができるようにした。

2. 電気系 光電流は極めて小さい値で、これを増巾しなければ検出は困難である。Fig. 2 は電気

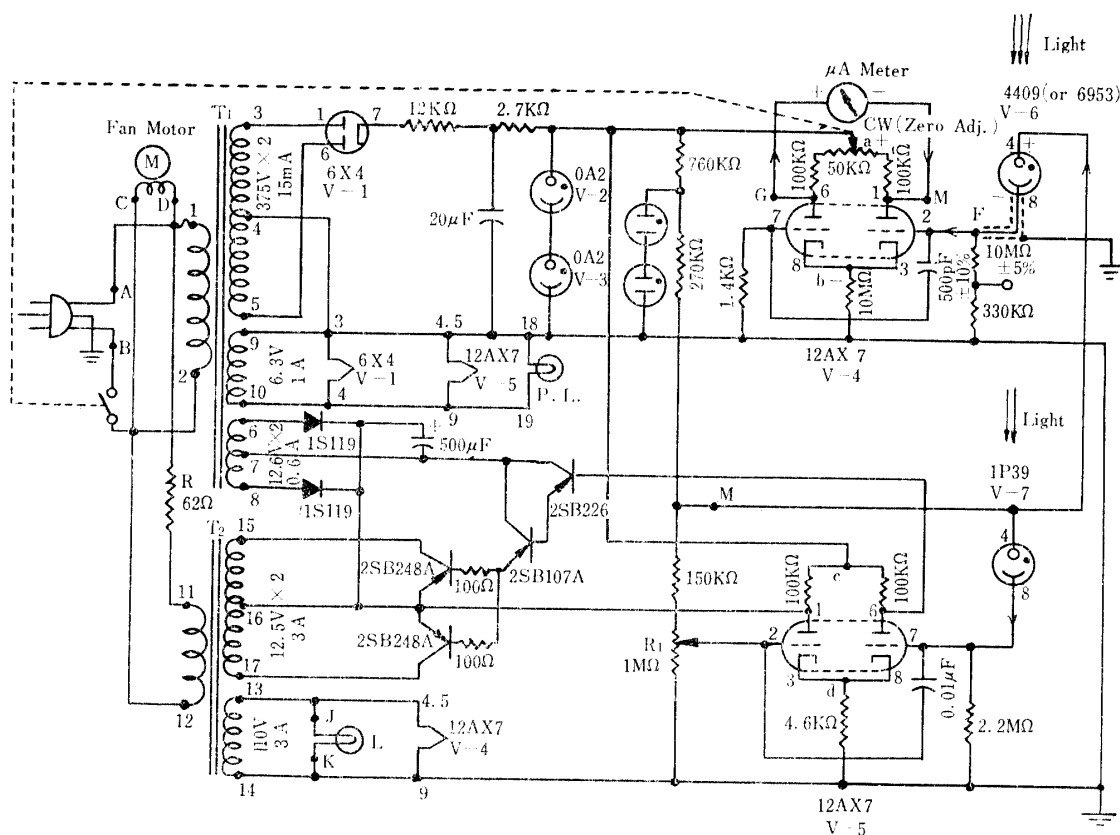


Fig. 2. Connection diagram in electrical system.

回路結線図で V-4, V-5 の 2つの複合管は各 2つの直流 bridge 形差動増巾器を形成し, これで drift が除かれ, 約 80 [db] の電流利得が得られる.

分光光電光度計で重要なことは, 光電管にとっても光源 lamp にとっても電圧変動率が少ないことであるが, ここでは周波数変動に対してあまり効果のない鉄共振形変圧器は用いず普通の非共振形変圧器を用い, T₁ の変圧器では双 2 極管で全波整流して平滑にし, 直流に直して定電圧放電管を 2 個直列にして定電圧にし, 2つの直流 bridge の電源端子 a, b および c, d に, また 2つの光電管 V-6, V-7 の陽極, 陰極端子 4, 8 に供給する.

V-4 のつくる直流 bridge の差動増巾器については, 測定用光電管 V-6 に光が入射しないとき bridge が平衡し, 1, 6 の電位が等しくなつて μA meter には電流が流れないように CW の零調整を加減しておく. 次に測定用光電管 V-6 に光が入射すれば, 矢の方向の光電流により端子 2 の grid の電位は上り, 双 3 極管 V-4 の右側部分の内部抵抗は減少する. 従つて 1 の電位は 6 の電位より下つて, 6 より meter を通つて 1 に向う矢印の直流が流れ meter には光束に応ずるふれを生じて透過率を測ることができる.

以上のばあい光源の光束は常に一定でなければならないが, 電圧が変動すれば光束も変動するから光源 lamp に供する電圧もできるだけ定電圧に保つ必要がある. このばあいは変圧器 T₂ の 1 次回路に抵抗 R を直列に入れて, その電圧降下の変化により T₂ の 1 次電圧を一定に保つようにする. このためには光源 lamp L の光束の一部を監視用光電管 V-7 に入れる. V-7 に一定光束が入るとき, V-5 でつくる bridge が平衡するように potentiometer R₁ の摺動接点を調整して固定する. このとき抵抗 R には一定電圧降下が生じている. 今もし電源電圧 (1 次電圧) が上り光源の光束が増加すると

すれば、V-7 の中を 4 より 8 に向う光電流が増加して前と同様 1 の電位が 6 の電位より高くなり、1 より 6 に向って導線を直流が流れ V-5 の増巾作用が行なわれる。この電流は、selenium 整流器 1 S 119 によつて全波整流された直流電圧で bias されるところの transistor 2 SB 248 A および cascade に接続された 2 個の 2 SB 226 とにより増巾され、これが変圧器 T_2 の 2 次側に負荷の形に接続されている 2 個の transistor 2 SB 248 A の電導度を減ずることになる。従つて T_2 の 2 次側負荷電流がふえ、1 次側の抵抗 R の電圧降下も大きくなって、1 次側電圧を下げて平衡状態に戻す。1 次側電圧が下るときはこの逆になる。このように供給電圧の増減は光源 lamp の明るさの変化によつて検知され、feedback されて、変圧器の 1 次電圧を一定に保つ方法は、低電圧、大電流の lamp 負荷の安定に適していて、精度よく、かつ瞬間変動にも応ずることができる。しかし更にもつと明るい光源が必要なときは、大きな出力の transistor を用いなければならない。なお本学部における電圧変動率は甚だしく、磁気増巾形定電圧装置を前置した。

III 実験方法および結果

“分光光電光度計の相対的総合特性”は“lamp の相対的 spectral 放射 energy”に“等しい一定の強さの spectrum に対する光電管の相対的感度”を乗じた積になる。この“分光光電光度計の相対的総合特性”，すなわち光路に試料を入れないで波長を変え、 μA meter の読みの最大値を光量調節で 100[%]に合わせたときの各波長に対する μA meter の読みをとるときは、Fig. 3 の曲線 2 が得られる。

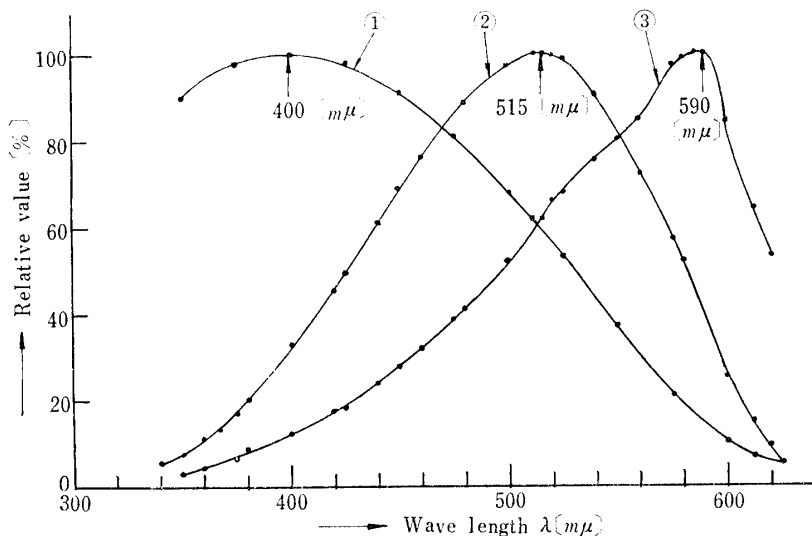


Fig. 3. Characteristics of photoelectric spectrophotometer.

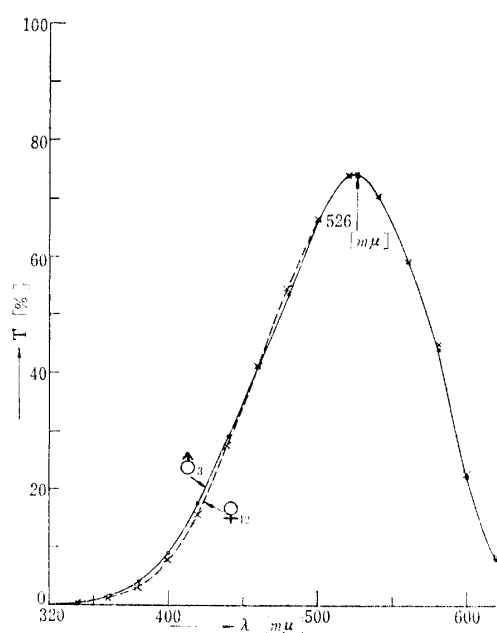
1. Relative sensitivity of phototube in uniform spectrum.
2. Relative composite characteristics of photoelectric spectrophotometer.
3. Relative intensity of spectral emission energy of the lamp.

Cs—Sb の光電面を有する青色光電管 4409 のばあい“等しい一定の強さの spectrum に対する光電管の相対的感度”は曲線 1 に示すように与えられるので、各波長における前者 2 を後者 1 で除した商 r を求めると、このばあい最大値が 3.4 になる。この商 r の最大値が 100[%] になるように相対値を求めれば“lamp の相対的 spectral 放射 energy”は $r \cdot 100 / 3.4$ を計算して求められる。これを graph に plot したものが曲線 3 である。ただしこの特性は“lamp の相対的 spectral 放射 energy”だけでなく分光器等の透過特性も含まれることになる。

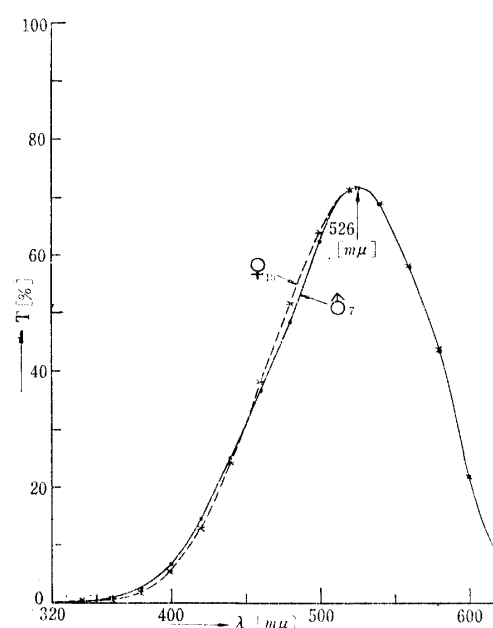
“等しい一定の強さの spectrum に対する光電管の相対的感度“ は人の眼の相対的感度すなわち比視感度曲線に相応するものであるが、光電管の光電面の成分が同じでも、幾分個々の異いがあるようで、同種の光電管でも取り換えたばあいは総合特性は幾分違って来る。しかし透過率、吸光度を求めるときは、これは関係しない。

分光分析における比色法では特定の波長について、また光電分光光度法ではすべての波長について、光電管で測った等しい強さの光束に対しての試料成分の透過率、または吸光度を求めるが、選別や鑑別では光量は一定にしておいて光路に試料を入れ波長を変えたときの総合特性をしらべる。すなわち光源の放射特性、分光器 lens 等の透過特性、光電管の感度特性、試料の透過特性を合成した総合特性を求めればよい。もちろん試料を透過する光路長は一定でなければならない。特定の試料について総合特性を求めた結果、波長 λ_A でほとんど同じ値であり、波長 λ_B で明瞭な差異が認められるような波長 λ_A , λ_B が決まるならば、以後選別は示差計によって容易に行うことができる。

実測には太平×長安の雌雄繭各 12 粒を用いたが、出口 slit の面を水平にして slit の上に蛹のは入った繭を載せるとき、光量を最大にしてある波長範囲で僅かに透過するだけであった。これは繭層で分散した光が光電管に入るためと思われ、蛹体のみで slit を蔽うように置けば透過光を検知することはできない。これを検知するにはもっと明るい光源、感度のよい光電増倍管を用いなければならないことになるので、ここには予備実験としてまづ繭層について測定した。最初繭を保持する holder としての治具を作り、長軸に沿うて 2 つに割った片面だけの繭層を holder に固定して adapter を抜いて代りに挿入し Fig. 1 (b) に示す位置に繭層を保持する。分光光度計の switch を入れて 1~2 時間後には零点は長時間変化しなくなるので全測定を完了するまで零調整はほとんど行う必要がない。測定にははじめ適当な光量を選んで一定にしておく。繭層を固定した holder を挿入しておき、波長を変えては shutter lever につけた糸を引いて shutter を開き meter の読みをとり、糸をゆるめて零位置を確かめる。320[m μ]~620[m μ]の波長範囲の実測結果が Table 1 (a) に示してある。Table 1 (b) は波長 526 [m μ]における総合透過率を順位別に示したものである。この表中線で結んであるものは総合透



(a)



(b)

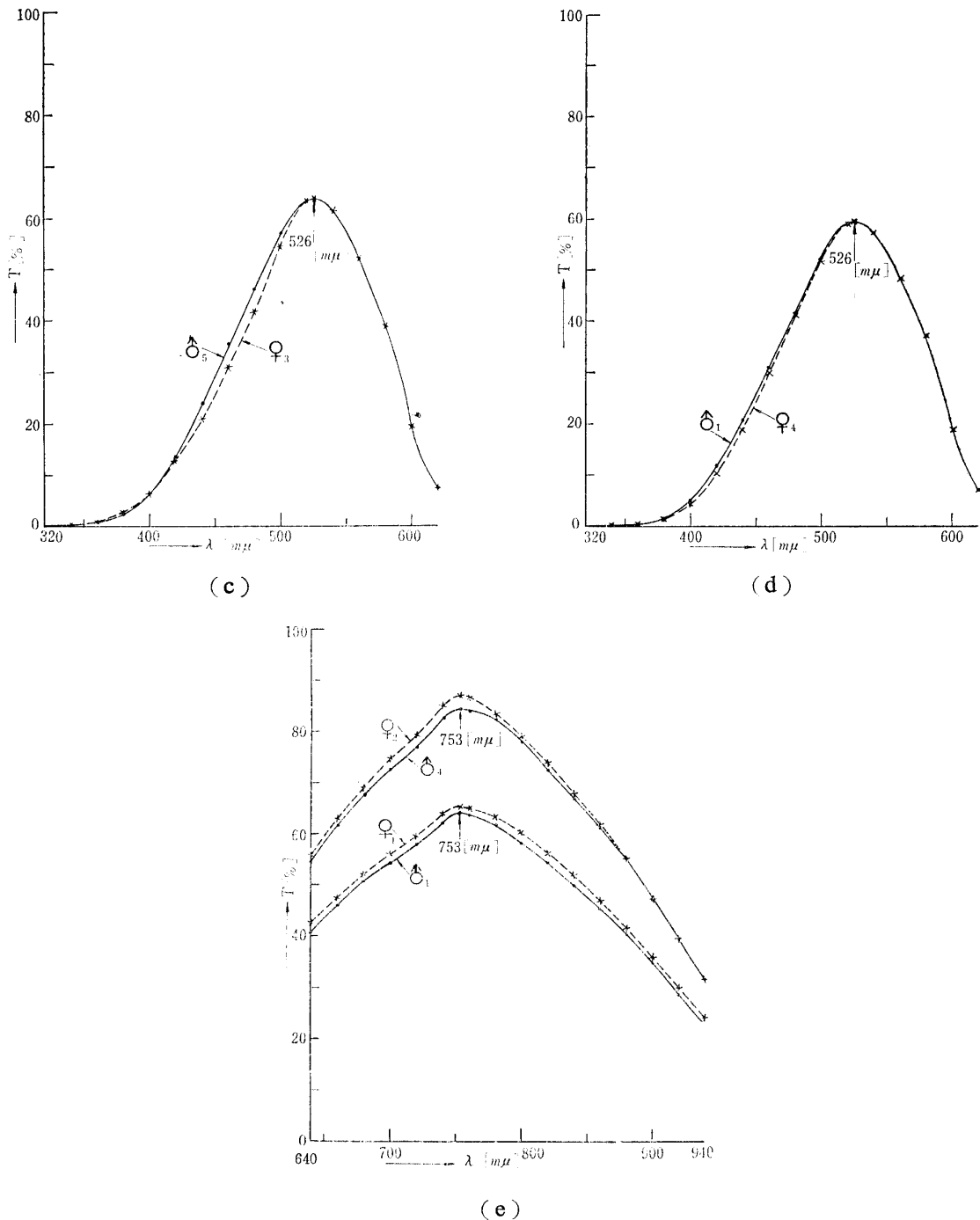


Fig. 4. Composite spectro-characteristics of silk worm cocoons.

過率がほとんど同じ位のもので、この組合せの中の任意の4つを取り出して示したものが、Fig. 4 (a), (b), (c), (d) である。青色光電管を赤色光電管におきかえ赤色 filter を入れて測った 630 [mμ] ~960 [mμ] の波長範囲についての値の表は省くが、その中から2組の例を示したものが Fig. 4 (e) である。

IV 考 察

平均光路長のほとんど同じ雌雄の繭層の総合分光特性を較べて見るに、両者間にほとんど差はない

Table 1. Relative composite transmittance respondent to the wave length, as the quantity of light is constant.

(a)

Wave length λ [$m\mu$]	♂ No.												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
320		0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
40		0.2	0.2	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	1.0	0.2	0.2
60		0.5	0.7	1.2	1.7	0.7	0.8	0.9	0.6	0.3	4.0	0.3	1.0
80		1.7	1.8	3.8	4.5	2.2	1.8	2.6	1.1	1.0	10.0	1.0	1.3
400		5.0	5.3	9.2	11.5	6.3	5.0	6.6	3.0	3.0	20.7	3.5	6.5
20		11.6	12.8	17.7	22.7	13.6	12.8	14.5	8.0	8.0	36.0	9.3	13.0
40		20.7	24.0	29.0	36.7	23.8	25.3	25.0	16.5	12.0	54.2	18.0	22.2
60		30.8	36.4	41.0	51.7	35.0	40.0	36.3	27.8	28.3	74.0	28.0	33.4
80		41.7	49.0	53.2	68.0	46.2	53.3	48.5	39.8	39.7	93.2	39.6	44.5
500		52.3	60.3	66.0	83.3	57.0	65.3	62.3	51.7	49.6	100 over	49.2	56.5
20		59.2	67.8	73.5	92.0	63.5	72.7	71.5	61.0	56.0	100 over	55.9	65.0
26		59.7	68.0	73.9	92.3	63.7	72.8	71.9	61.5	56.5	100 over	56.2	65.2
40		57.3	64.8	70.2	88.2	61.0	69.5	69.0	59.3	54.2	100 over	54.0	61.8
60		48.5	54.6	59.3	74.5	51.3	58.5	58.1	50.0	46.0	97.2	45.5	52.2
80		37.0	41.0	44.0	56.0	38.8	44.7	43.5	38.0	35.2	73.0	34.0	39.2
600		19.0	20.8	22.2	28.7	19.7	22.0	22.0	19.0	18.0	36.8	16.8	20.0
20		6.8	7.7	8.0	10.8	7.4	8.0	8.3	7.0	6.8	13.5	6.0	7.3

Wave length λ [$m\mu$]	♀ No.												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
320		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
40		0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.7	0.2	0.4	0.2
60		0.5	1.7	1.0	0.3	0.8	0.3	0.7	0.7	2.3	0.7	1.3	1.0
80		1.3	4.3	2.8	1.3	2.5	1.0	2.0	2.0	6.0	1.8	3.7	3.0
400		4.3	10.7	6.8	4.3	6.5	3.5	5.7	6.5	13.4	5.2	8.7	7.8
20		10.7	19.3	13.0	10.2	14.2	9.5	13.0	15.7	24.7	13.0	16.6	16.2
40		20.0	30.0	21.0	19.0	25.7	19.0	23.8	27.7	39.2	24.4	26.0	28.0
60		31.0	41.8	31.0	29.8	39.0	30.8	36.3	41.3	54.5	38.2	36.7	41.3
80		42.5	55.0	41.7	41.0	52.6	43.0	48.0	55.0	70.5	51.6	48.2	54.3
500		53.7	69.2	54.4	51.9	64.2	54.2	58.8	66.4	85.5	64.0	61.5	66.0
20		61.0	79.2	63.4	59.3	71.8	62.0	65.5	74.0	94.7	71.7	70.5	73.7
26		61.5	79.6	64.0	59.8	72.2	62.5	65.8	74.2	95.0	72.0	71.0	74.0
40		59.0	76.7	61.4	57.3	69.0	60.2	63.0	70.8	91.2	69.0	68.2	71.0
60		50.0	64.6	52.0	48.6	58.5	51.0	53.0	59.4	77.3	58.4	57.6	59.5
80		37.8	48.2	39.2	36.7	44.0	38.7	40.0	44.6	57.7	44.0	42.7	45.0
600		19.4	24.1	19.6	18.5	22.3	20.0	20.5	22.8	29.0	21.8	21.6	23.0
20		7.3	9.0	7.2	6.8	8.2	7.2	7.7	8.7	11.3	8.7	8.0	8.7

(b)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Transmittance at $\lambda=526$ [$m\mu$]	>100	92.3	73.9	72.8	71.9	68.0	65.2	63.7	61.5	59.7	56.5	56.2
♂ No.	10	4	3	6	7	2	12	5	8	1	9	11
♀ No.	9	2	8	12	5	10	11	7	3	6	1	4
Transmittance at $\lambda=526$ [$m\mu$]	95.0	79.6	74.2	74.0	72.2	72.0	71.0	65.8	64.0	62.5	61.5	59.8

ことがわかる. 従って繭層のみでは総合分光特性による雌雄差は認められない.

繭を回転楕円体とすれば, 繭層はその長軸方向に両端に向って薄くなり中心部の約 1/2 位にもなる. また繭層は光路に対してほぼ垂直な 1 本の連続した 8 字状吐糸の重なりになっているので, 拡散反射, 拡散透過を繰り返す, その光学特性は¹¹⁾複雑となると思はれるが, 選別鑑別のばあいは総合分光特性に差異が見出されさえすればよいのであって, 繭層を 1 つの平均光路長を有する光の分散の多い媒質と見てよいと思う. また蚕蛹は水の媒質中に多数の微粒子が分布する拡散体と考えられる.

いま入射放射束 F_0 , 試料の透過光束 F , 吸収係数 α , 試料の厚さ (光路長) x とすれば, 透過率 T は $T = F/F_0 = e^{-\alpha x}$ であるから

Table 2. The relation between transmittance (T) and variation of transmittance per unit of ratio of optical length variation ($\frac{\Delta T}{\Delta x/x}$).

Transmittance T	0.01	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$\frac{\Delta T}{\Delta x/x} = T \log_e T$	0.0465	0.1498	0.2303	0.3219	0.3612	0.3612	0.3466	0.3065	0.2497	0.1785	0.0948	0

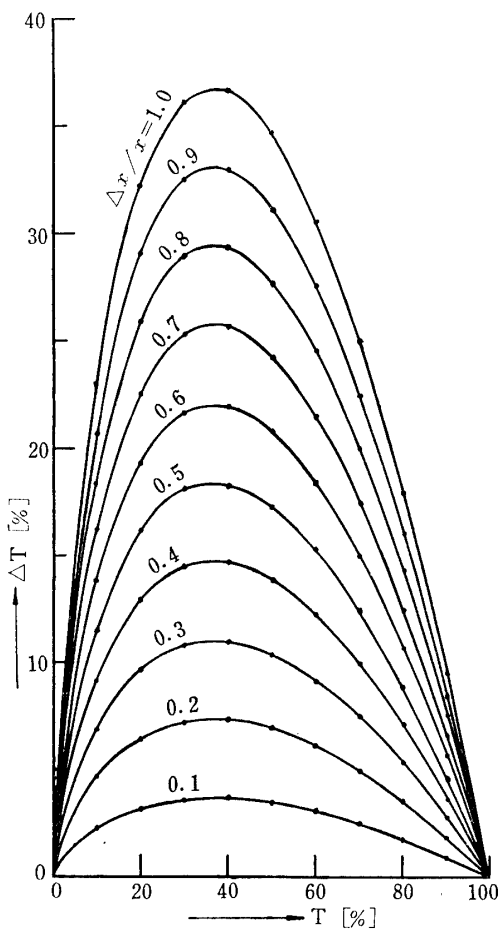


Fig. 5. Graphs of transmittance variation relative to transmittance.

$$\frac{dT}{dx} = -\alpha e^{-\alpha x} = -\alpha T = \frac{T \log_e T}{x}$$

である. 従って

$$\frac{\Delta T}{\Delta x/x} = T \log_e T$$

となる. $\frac{\Delta T}{\Delta x/x}$ すなわち単位光路長当りの光路長の変化 $\Delta x/x$ に対する透過率の変化は $T \log_e T$ となり, 透過率 T だけの関数で, Table 2 のようになる.

また $\Delta x/x$ がそれぞれ 0.1, 0.2, ..., 0.9, 1.0 で $\Delta x/x$ を parameter とするとき透過率 T に対応する透過率の変化 ΔT は Fig. 6 のような graph を描く. この図は透過率が 40 [%] 附近で感度が最大であり, これより透過率が少くなりまたは多くなるにつれ感度は減少することを示す. また $\Delta x/x$ が同じ値であれば, T における透過率の変化 ΔT も等量となる. 例えば繭層, 蚕蛹, 林檎の平均光路長をそれぞれ 0.6 [mm], 6 [mm], 60 [mm] とする. 林檎を選別するとき大きさの相違により光路長に ± 3 [mm] の相違が生ずるとすれば, 透過率 40 [%] のところで最大 1.83 [%] の透過率の変化が生ずる. 蚕蛹のばあいにはこれと同じ変化に抑えるためには, ± 0.3 [mm] の光路長の変化範囲内であればならず, 繭層のばあいには ± 0.03 [mm] の光路長の変化しか許されないこ

とになる。従って繭層のような薄い試料の分光特性によって鑑別を行うことは不適當であると言わなければならない、またたとえ単色光の帯域巾を小さくし光電管の感度を上げて同じ光路長のときに雌雄の差があったとしても、現実には光路長を精確に揃えることは困難であるのでこれに代るべき補償方法が見出されなければならないことになる。

蚕蛹のばあいは繭層のばあいよりは光路長は長くはなるがやはり林檎などに較べるとずっと短い。しかしこのときは特殊な cell を用いて蛹を挟み光路長を一定にすることができる。なお前述のように光源を明るく、単色光の帯域巾を狭く、光電増倍管を用いる必要がある。

V 結 言

今回は測定装置の関係から繭層だけについてしらべたが、引続き装置を改造し、感度をよくして蚕蛹についての総合分光特性をしらべ、更には螢光、燐光等についてもしらべたいと思う。

終りに本稿を記すに当り、材料や文献等の提供を戴いた西郷、石橋両教授並びに種々の助力を惜しまなかった宮里助手に深謝の意を表する。

VI 摘 要

1. 測定には島津・ボシュロム回折格子形分光光電光度計 "Spectronic 20" を用いた。
2. 感度の性能上、まづ繭層について測定した。
3. 同じ光路長を有する繭層の総合分光特性では雌雄による差は認められなかった。
4. 繭層では光路長が小さいために、たとえ総合分光特性に雌雄の差があっても、この方法による鑑別は不適當である。
5. 蚕蛹のばあいは、それほど光路長は小さくはないが、特別なセルを用いて光路長を等しくして測定する必要がある。
6. 更に測定装置には、より明るい光源、帯域巾 10 [$m\mu$]~15 [$m\mu$] の単色光、より高感度の光電増倍管を用いる必要がある。

文 献

- 1) 四方正義：蚕糸科学と技術, **3**, 11, 58-62 (1964)
- 2) 西沢正一：蚕糸科学と技術, **4**, 3, 68-71 (1965)
- 3) 四方・吉木：日本蚕糸学雑誌, **34**, 1, 37-41 (1965)
- 4) J. B. POWERS, J. T. GUNN, F. C. JACOB: *Agr. Eng.*, **34**, 3, 149-158 (1953)
- 5) K. H. NORRIS, J. D. ROWAN: *Agr. Eng.*, **43**, 3, 154-159 (1962)
- 6) F. C. JACOB, R. J. ROMANI, C. M. SPROCK: *Transactions of the ASAE*, **8**, 1, 18-24 (1965)
- 7) N. N. MOHSENIN: *Transactions of the ASAE*, **8**, 1, 25-29 (1965)
- 8) G. S. BIRTH, K. H. NORRIS: *U. S. Dep. of Agr. Tech. Bull.* No. 1341, 1-20 (1965)
- 9) 武藤義一：比色分析法 (共立全書 97), 243 (1964)
- 10) 筒井・神山・吉永：応用光学概論, 359 (1965)
- 11) 山内・中路：照明電灯及電熱, 25-40 (1938)

Summary

1. For the execution of 'measurements' was adopted the Shimazu-Bausch & Lomb Diffraction Grating type photoelectric spectrophotometer "Spectronic 20".
2. On account of the limited sensitivity of this apparatus, the silk worm cocoon layers

were selected as the object of these measurements.

3. In the synthetic spectro-characteristics of the cocoon layers having equal optical length, no sexual difference was to be recognized.

4. The optical length of the cocoon layers is too short for this method to be suitable for the discrimination of sex, even when there is actually a difference between the sexes.

5. Even in case of the worm pupa, in which the optical length is not so short, for the realization of an effective measurement it is necessary to equalize, before the measurement, the optical length with the use of the special cell.

6. Moreover, the settlement and supply of the light source brighter than the present one, the monochromatic light with a spectral bandpass of 10 [$m\mu$] to 15 [$m\mu$], and more sensitive photoelectric multiplier are deemed to be essential for a correct and trustworthy measurement.