

蚕繭の再乾に関する研究(第4報)

乾燥過程に於ける繭腔内湿度及び蛹体収縮について

白井 美明*

Yoshiaki SHIRAI: Studies on the Redrying of Cocoons. (4) The Relative Humidity in the Hasks of Cocoons and the Shrinkage of Pupae in the course of Drying

(1953年9月15日受理)

緒言

著者は第2報⁽¹⁾に於て繭層の水蒸気透過性に就いて実験的な研究結果を報告した。この実験条件は実際に行われている乾燥条件とは異なるので、本報告では実際の乾燥条件を用いて繭腔内の湿度を測定し、更に繭の乾燥速度に関係すると思われる蛹体の収縮過程に就いての研究結果を報告する。

本研究の一部は昭和27年11月の日本蚕糸学会中部支部研究発表会で報告した。本研究を行うに当つて御指導をあたえられた荻原教授に深甚の感謝を捧げる。尙本研究の一部は文部省の科学研究助成補助金によつて行つたものである。当局に対して謝意を表する。

I 繭腔内湿度に就て

第2報に於て繭層の水蒸気透過抵抗は僅小であることを知つた。実際の乾燥の場合には蛹は常に繭殻内にあつて乾燥作用を受ける状態にある。この状態の蛹と繭殻外に取り出した蛹とは乾燥速度が相違している。⁽²⁾ 本研究では乾燥条件をほぼ實際に近い条件に調節し、第1図に示す装置で繭殻内の湿度及び蛹から発生する水蒸気の拡散速度を求めた。

(1) 実験方法

- 1) 試料 昭和27年度本学部産夏蚕繭日115号×支108号を用いた。試料中から高さ1cm、直径2cmの円筒状繭層を胴から切取つて供試した。従つて供試繭層を透過する水蒸気の透過面積は一定で約6.3cm²である。亦円筒状繭層の重さは1.3g、1.4g、1.5g、1.6g、1.7gの5区に調製した。各区の円筒状繭層の厚さはその中央で測つたので試料の厚さは繭の胴部の厚さを示すことになる。
- 2) 実験装置 実験装置の概要を第1図に示した。即ち真鍮製容器(A)に水蒸気脱出孔(B)を設け、その出口

に円筒状供試繭層(C)を取付ける。水蒸気が繭層の糸条間隙以外から漏洩しない様に gum packing で円筒状繭層の両端面を抑えた。水蒸気発生部は容器(D)と蒸発面(E)とから成る。容器(D)は水を貯え、充分に外気の熱を取入れられる様に偏平状にした。蒸発面(E)には濾紙を置く。濾紙面は導管中を通過して充分に水が供給される様にした。濾紙面が充分に濡れている時は濾紙面からの水分蒸発速度は自由液面からの水分蒸発速度と殆んど変わらない。⁽³⁾

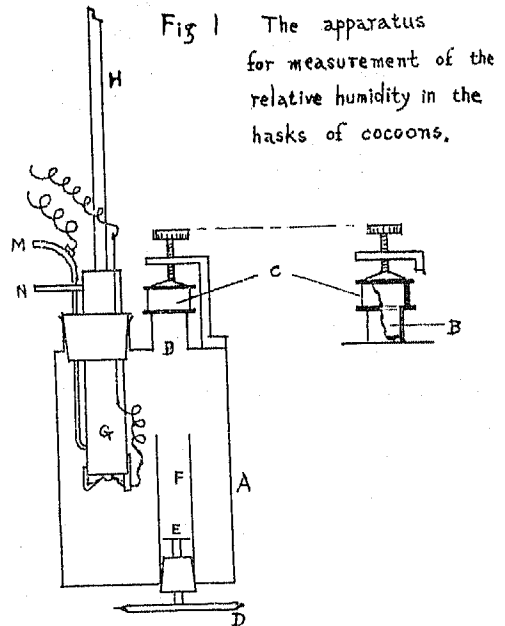


Fig 1 The apparatus for measurement of the relative humidity in the hasks of cocoons.

従つて濾紙面の大き及び温度を調節することに依つて水分の蒸発速度は任意の定速度を保たせることが出来る。⁽³⁾ 発生した水蒸気は円筒(F)内を拡散して容器(A)内に充満する。容器(A)には別に露点計(G)を設けた。露

* 信州大学繊維学部製糸原科学研究室

点計は円筒に温度計(H)を差込み、温度計球部先端を円筒端より僅かに露出させたものである。円筒の両端はゴム輪で密閉される。導管(M)(N)を通して円筒と温度計との間隙に冷水を循環し、温度計は冷却される様にした。高温度の空気の露点は常温よりはるかに高いので遂に温度計球部先端は露を結ぶ。例えば80度、5%の空気の露点は約30度である。結露したか否かの検出方法としては球部先端の電氣に対する表面絶縁抵抗の測定法を採用した。測定電極間隔は1mm、測定電圧は3 Voltとした。電極は真鍮針金の先端を用いた。

結露時の表面絶縁抵抗は突然小さくなるので、温度計硝子材質中を流れる電流を考慮した保護電極(C)は設けなかつた。表面絶縁抵抗の減少速度及び増加速度が突然変化する時の温度の平均を以て露点とした。この露点は乾湿球湿度計から求めた場合の値より常に低かつた。この理由は結露面が熱伝導度の低い硝子材で出来ており且つ空気が高温度であつた為と考へる。この為二つの値の差を各種の温湿度に於て予め求めておき、この露点計から求めた値を修正して露点とした。

(2) 實驗結果

1) 繭戸の水蒸氣透過性 露点計の冷却用水の送込ゴム管をはずし、装置全体を第2報に述べた乾燥機内に收容し秤量出来る様にした。次に装置の水蒸氣脱出孔からの水蒸氣の脱出速度を80度、7%の空氣中で0.20 g/hとなる様に調節した。この水蒸氣脱出速度は繭乾燥の初期に蛹体から發生する水蒸氣の發生速度に近い。この状態の装置の水蒸氣脱出孔に各区の試繭繭戸を取付けて水蒸氣の脱出速度を測定した。その結果を第1表に示した。

Table 1 The vapour permeability of cocoon layer at 80°C, 7% R.H

Cocoon layer	weight g	none	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
	thickness mm	none	0.64	0.74	0.69	0.81	0.93
Velocity of Permeability g/h		0.20	0.15	"	"	"	"

即ち繭戸重及び厚さが異つても水蒸氣透過速度は殆んど変化しなかつた。従つて本實驗に用いた繭戸重及び繭戸の厚さの程度では水蒸氣透過速度に相違が現れなかつた。繭殻中にある蛹の乾燥速度はおそくなるので繭戸の有無は他の原因を誘發させて蛹の乾燥速度をおそくしたと考へる。本實驗条件では繭戸の内外に於ける温度差は殆んどない。従つて乾燥の遅れは空氣条件中の温度以外

の原因で誘發されたと解する。

一般に水蒸氣の拡散量は空氣境膜中の水蒸氣濃度勾配 $\frac{\partial c}{\partial x}$ と分子拡散係数Dとの積に比例する(2)繭戸の存在は新しい空氣境膜を付け加へることになる。又繭戸は繭腔内空氣の渦動を著しく抑制する筈である。その為蛹体表面の空氣境膜の厚さは繭戸の存在に依つて増大すると考へる。従つて水蒸氣濃度差Cが同一であつても繭戸の存在は水蒸氣の分子拡散距離Zを多くすることになる。その結果 $\frac{\partial c}{\partial x}$ は小さくなつて水蒸氣の拡散量を減じた様である。第1表の結果から計算すると水蒸氣濃度勾配は約30%減少したと見られる。第3報(3)に於て風力乾燥を行つたが、實際の送風条件よりも著しく速い風速を繭積層に与えたので乾燥速度は速かつた。この原因も水蒸氣濃度勾配の増大に起因したと考へる。

2) 水蒸氣發生量と繭腔内湿度 水蒸氣發生部の水蒸氣發生量は装置全体の温度変化のみで調節した。濾紙面の大小を調節することは希望する水分の蒸發速度を得るのに困難な方法であり、實際の繭乾燥の場合高温時に水蒸氣の發生量が多いからである。繭腔内の露点は測定された値から装置の性質に依つて生じた値を除いたものに等しいと見做した。その結果を第2表に示した。

即ち繭腔内の湿度は繭外より2~4%高い。第1表に示した様に繭戸の水蒸氣透過抵抗が少いにも不拘水蒸氣濃度勾配の減少の為湿度は高くなつたと考へる。水蒸氣發生円筒(F)の上端は露点計及び供試繭戸から等距離に在る。

Table 2 The air conditions round the cocoon layer

outside		inside	
temp °C	R.H%	temp °C	R.H%
80	11	80	13
72	14	72	17
62	16	62	19
51	20	51	24

然るに實際の繭乾燥の場合、繭腔内温度は繭外温度より数度低い(4)第2表の結果に繭腔内外の温度差を考慮すれば繭腔内外の湿度差は約10%になることが予想される。

II 乾燥過程にある生蛹の收縮に就て

繭腔内の湿度は空氣境膜の厚さの影響を受けて変化する様なので、この空氣膜の厚さに関係する蛹体表面の凹

凸について乾燥の進行に伴って変化する状態を調査した
又乾燥に伴って起る蛹の収縮は蛹の受熱面積及び水分蒸
発面積を減少し、蛹殻内空間を相対的に大きくすること
になるので、蛹の凹凸状態と共に其の体積変化をも調査
した。

(1) 実験方法

1) 試料 昭和27年長野県産秋蚕繭秋花×開繭の裸蛹を
用いた。裸蛹の体積及び重量は夫々1.45cm³及び1.49g
であった。各実験に用いた蛹体数は20頭とした。

2) 実験条件 実験方法は第3表の様にした。

Table 3 The drying conditions

Sort:	temperature
Standard	90→80→70°C
high	90°C constant
low	70°C constant
redrying	first stage 90→80°C second // 70°C

蛹体々積の収縮速度の表示は熱膨脹係数に準じた収縮
係数を用いた。即ち

$$R = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{V_a - V_b}{w_a - w_b}$$

但し無水蛹体々積をV₀とし、乾量基準による蛹体含水率
がw_aからw_bに減少する時蛹体々積はV_aからV_bに減少す
るとした。蛹体表面の凹凸状態の表示は空間率を用い
た。即ち

$$P = \frac{V_1 - V}{V_1} \times 100$$

空間率は或る容器内に充填物を充たした時、容器中充
填物に依って占められていない空間の割合を百分比で表
わしたものである。Pは充填物の形状に依って著しく異

るものであるから本実験に利用出来る方法である。

上式に於て蛹体々積をVとし、蛹体充填容積をV₁とし
た。この際Pの値は蛹の充填方法に依って多少変化す
る。即ち円筒状容器に蛹を充填するとすれば、蛹の代表
的長さdと円筒の直径D及び円筒の高さlとの関係が充填
方法の相違として考えられる。l/a及びD/aを広範囲に変
化した時、球及び波伸個体についてのPは2%変動(7)し
たのみである。又同一容積内に配列されている球の数n
について見ると、nが5から無限大に増加する時Pは3.
63%減少(8)する。蛹体のPも充填方法によってこれ等の
範囲内で変化するものとする。

これ等の範囲をPの誤差として許容すれば、Pに依って
蛹体表面の凹凸状態の変化を表示することが出来る。

乾燥機は電気定温乾燥機を用いた。乾燥中の蛹は互に
接触せしめない。V及びV₁はメスシリンダー及び水銀を
用いて測定した。乾燥経過時間には測定に要した時間を
含めない。

(2) 実験結果

対照区の結果を第4表に示した。対照区と同様にして
高温区、低温区、再乾区のP及びRを求めた。その結果
を第2図、第3図に示した。

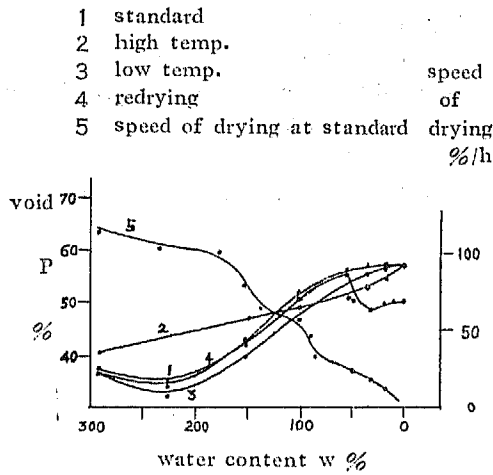
即ち乾燥過程に於けるPは乾燥初期に於ては蛹体軟化
の為小さくなり、乾燥が進むと蛹の変形度を増し、乾燥
開始後約4時間即ち蛹体含水率約40%で蛹体の変化は停止
することを示している。RはPの増加速度の大きい時に
最大である。即ち蛹体の凹凸発生時にその体積の収縮は
激しく行われることを示す。次に対照区の乾燥速度曲線
は温度を段階的に変えたので変曲点をもっている。然る
にP及びRの曲線には変曲点がない。本実験方法では乾

Table 4 The course of the standard drying

drying conditions			pupa				pile of pupa		
time min	Temp. °C	R.H %	weight g	dryness %	water content w%	volume Vcc	shrinkage R	volume V _{1cc}	void P%
0	90	4	28.20	100	292	28.0	—	45.0	38
30	"	"	23.70	84	229	24.0	0.006	37.0	35
60	80	5	19.55	69	172	20.0	0.007	34.0	41
90	"	"	16.85	60	134	17.0	0.008	31.0	45
120	70	6	14.30	51	99	14.0	0.009	29.0	52
150	"	"	12.90	46	79	12.5	0.008	28.5	56
180	"	"	11.55	41	60	11.5	0.005	28.0	59
240	"	"	10.15	36	41	11.0	"	26.0	58
300	"	"	8.30	29	15.3	10.5	"	25.0	58
360	"	"	7.55	27	4.9	10.0	"	24.0	"
420	"	"	7.25	26	0.7	10.0	"	24.0	"

weight and volume of the dry pupa : 7.20g and 10.0cc

Fig 2 The Void of pile of pupas

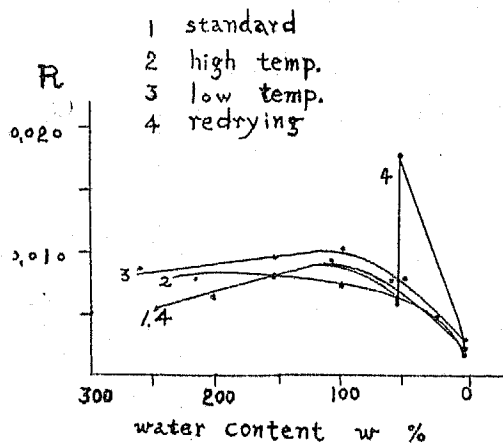


乾燥速度とP及びRとの関係は明かにすることが出来なかつた。今后研究を進めて行く考えである。

乾燥条件を変化した場合のPは第2図に示した様に高温区のものの方が速かに増大する。然し再乾区を除けば本乾程度にした蛹のPは殆んど一致した。即ち蛹に生ずる凹凸程度はほぼ等しい。

一般に乾燥を促す条件の強い時被乾燥物の表面と内部との水分濃度差は多くなる。この為乾燥によつて起る歪は早く現われる。乾燥を中止すると

Fig 3 The drying shrinkage R of pupa



水分移動によつてこの濃度差は減少し、被乾燥物に歪を与える作用は小さくなり、被乾燥物は旧態に復して

る。蛹の乾燥の場合も之れと同様であると考え。乾燥の末期に於ては蛹の含有水分が少ないので水分濃度差は少く、蛹に歪を与える作用は殆んど生じなかつた様である。この為再乾区のPは一旦減少したまま遂に他の区のPと一致しなかつたと考える。

次に蛹体収縮係数Rについて見ると第3図に示した様に低温区の方が稍大きい。この為低温区の蛹体々積は他の区のものより小さい。但し此所では蛹体内に存在する空洞は蛹体々積に含まれている。又再乾初期のRは特に大きかつた。

Ⅲ 摘 要

本研究によつて次の結果を得た。

- (1) 実際の繭乾燥に於ては繭戸の重さ及び厚さと繭戸の水蒸気透過性との関係は僅少で本研究では認められなかつた。
- (2) 繭戸の水蒸気透過性に関係するもの一つとして空気境膜を考えた。
- (3) 繭殻内湿度は繭外湿度より2—4%多い。繭殻内外に温度差があると更に温度差は多くなる。
- (4) 蛹に生ずる凹凸状態の表示に空間率pを用いた。生蛹のpは約38%で、乾燥の進行と共に増加し、本乾程度の蛹のpは58%であつた。蛹の体積変化の表示は熱膨脹係数に準じた収縮係数Rを用いた。Rは乾燥初期に約0.006を示し、最大値0.009を経て乾燥終了と共に零に至る。
- (5) 繭戸及び蛹体の空気境膜に関係すると思われるP及びRと蛹の乾燥速度との関係は明かにすることが出来なかつた。この関係は蛹体の空気境膜を薄くする様な乾燥方法と共に今后研究したいと考える。

文 献

- (1) 白井美明 蚕繭の再乾に関する研究Ⅱ 本学部研究報告 1 67P (1951)
- (2) 龜井三郎・桐柴良三 蚕繭の乾燥に関する研究 製糸研究報告書(日本製糸協会) (1950)
- (3) 龜井三郎 空気の調湿及乾燥 65P (1948)
- (4) 津田吉文 電気計測工学上巻 156P (1952)
- (5) 押田勇雄 蒸発・乾燥 13P (1950)
- (6) 白井美明 蚕繭の再乾に関する研究Ⅱ 本学部報告 2 66P (1952)
- (7) 内田俊一 流体輸送 66—87P (1948)
- (8) 渡辺 貫 土の科学 15—22P (1946)

Summary

The writer invented the *special dew point meter* suitable for his experiment and measured the relative humidity of the air contained in cocoon-hasks in the course of drying by finding its dew point with this meter.

The relative humidity of that air was concluded to be higher (2~4% R.H) than that of the outside

air of cocoons.

One reason of this result seems to me that the boundary film of air round a pupa was increased. Therefore the coefficient of the drying shrinkage of a pupa and the percentage of void of the pile of pupas are measured.

(Laboratory of Filature Materials, Faculty of Textile and Sericulture, Shinshu University.)