

桑葉及び桑條の電氣傳導度に關する研究

岡 部 康 之

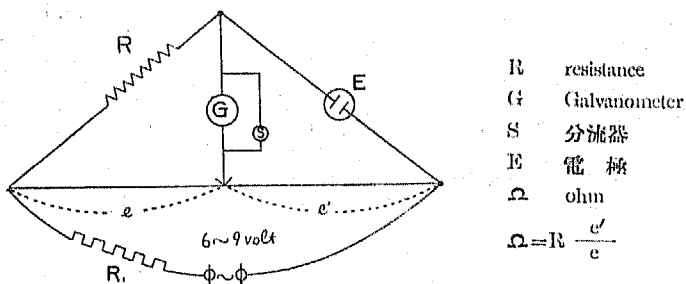
Yasuyuki OKABE:— Studies on the electric conductivity of mulberry leaves and stems.

緒 言

桑葉及び桑條を生態の儘電氣傳導度を計測することを得ば、生理學的検討を爲す上に意義ある結果を擧げ得べし。著者は自ら考案せる桑葉及び桑條の各々に對する、特殊の電極を用ひて之を計測し、同じく著者の考案に成る硬度計に依つて測りたる硬度と對照的に研究を進めたり。而して電氣傳導度若しくは硬度が含水量と如何なる關係を有するや、検討を進め一部の成績を得たるを以て此處に報告せんとす。

本研究を成すに當り指導を賜りたる理學博士八木誠政氏に謹みて謝意を表す。

第一圖 交流 Galvanometer 使用電氣傳導度測定裝置の接続



I. 方法及び材料

(1) 電氣傳導度測定法

電極は著者考案の下記の如きものを用ひ、他は總て工學博士松井元太郎氏考案の交流 Galvanometer 使用電氣傳導度測定裝置⁽¹⁾に依れり。其の接続は第1圖の如し。

(2) 電極に對する著者の考案

a. 桑葉測定用電極

之は前報告⁽²⁾に記載せる著者考案の桑葉硬度計に於ける銅球及びサンプラチナ板を以て、之に充當せり。即ちサンプラチナ板上に桑葉を置き其の上に銅球を載せたる時の傳導度を計測せり。

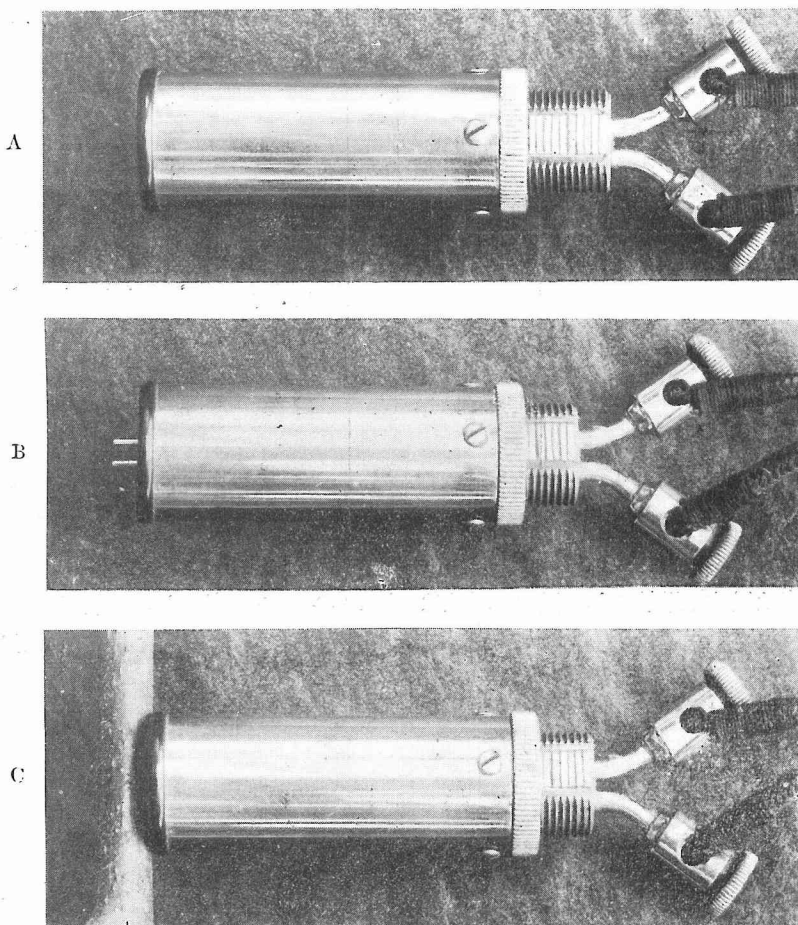
b. 桑條測定用電極

昆蟲の生体に於ける電氣傳導度計測を目的として考案せる Robinson⁽³⁾の電極は相互絶縁併行せしめたる2本の針を以て之に充當せり。著者も桑條に對して如此電極を以て計測せんとしたるも、其の針の鋭さ、太さ、挿入の程度等に於て幾多研究を要する事項あるを認め考案を重

ね第2圖の如き電極を組成せり。直徑 0.75 mm の2本の圓柱（2本の針なれど先端は直徑 0.75 mm の斷面を有せしめたるを以て斯く謂ふ）を絶縁併行せしめ、絶縁体のエポナイト板に一定の間隔に穿てる2孔より2本の圓柱を任意の長さ突出せしめ又後退せしめ得るやう、scale を附して micro-meters-screw 狀の機構をなせり。

此の 3 mm 間隔ある2圓柱を有する電極を測らんとする桑條の半徑に等しき長さ丈突出せしめて後、條に突入せしめ、電氣傳導度を計測せり。

第 二 圖 著者考案の桑條用電極（實物大）



- A 電極の二圓柱を後退せしめ Zero point とせる状態
 B 供試桑條の半徑と等しき長さ丈二圓柱を進出せしめし状態
 C 桑條に壓入せしめし状態

(3) 硬度測定法

桑葉及び桑條の硬度は何れも著者考案の硬度計に依りて計測せり⁽³⁾⁽⁶⁾。立木硬度の單位は次の如し。此の調査施行當時は生育中の軟弱なる新梢なるを以て本研究に於ては特に直徑 1mm の圓柱を採用せり。

『斷面の直徑 1 mm の圓柱を供試條測定部位の樹皮面に垂直に髓部に向つて壓入する時、髓部に到達する迄の最高の抵抗が荷重 1Kg. に相當する時立木硬度 1 度とす』

(4) 水分定量法

供試物を乾燥して行ふ常法に依れり。桑條は硬度及び傳導度測定部位を中心にして長さ3cmに切斷したるものを供試材料とせり。

(5) 供試材料

供試材料は總て下記の如き埼玉縣蠶業試驗場に於ける桑園より之を採り供試本数は各區10本なり。

第 1 表

供試桑園			樹 齡	品 種	桑 園
成 績	葉 條	年			
桑 桑	1 3	}	5	12種	春 秋 兼 用 根 刈
桑 桑	2 4				
桑 桑	3 5	}	9	改 良 鼠 返	春 秋 兼 用 根 刈 ○無肥料(8ヶ年間) ○自給肥料(反當) 綠肥 600 貫 堆肥 400 貫 石灰 30 貫 ○化學肥料(反當) 石灰窒素 25 貫、過磷酸石灰 15 貫、硫酸加里 7 貫
桑 桑	4 7				
桑 桑	6 1	}	9	改 良 鼠 返	春 秋 兼 用 中刈(60cm) 高刈(120cm)
桑 桑	1 2				
桑 桑	2	}	2	多 胡 早 生	夏 秋 兼 用 根 刈
桑 桑	4				
桑 桑	6 1	}	4	改 良 鼠 返	春 秋 兼 用 根 刈
桑 桑	2				

(6) 電氣傳導度の表示

電氣傳導度は抵抗の逆數にして抵抗の單位は ohm (Ω)を以て表示し、電氣傳導度の單位は ohm⁻¹なるべきも、著者は前掲 $\Omega = R \frac{e^2}{e}$ の算式にて計算せる數値 Ω を其の儘採用して次の成績を表示せり。(前報告と同じ)

II. 成 績

A 桑 葉

1. 桑品種に依つて異なる傳導度

第 2 表

(5-9/8, 1936調査)

品 種	硬 度 (度)			電 氣 傳 導 度 (ohm)		
	軟 葉	中 葉	硬 葉	軟 葉	中 葉	硬 葉
一ノ瀬青木	13±0.2	52±0.9	60±0.5	9000±420	30300±1980	38100± 2490
鼠 返	12±0.2	47±0.4	52±0.4	6900±240	22800±8540	40500± 1950
十 文 字	11±6.2	39±0.3	50±0.5	10500±180	28800±1260	49500± 4290
北 堀 桑	7±0.3	57±0.4	71±0.5	6000±240	24900± 720	89400±19830
改 良 魯 桑	6±0.1	73±0.5	77±0.4	10200±510	31800±2160	68000±10890
富 榮 桑	6±0.2	64±0.6	71±0.6	9900±240	19500± 990	55800± 8850

多胡早生	9±0.2	66±0.4	74±0.5	10200±330	21000±750	33300±1830
改良鼠返	8±0.3	66±0.4	71±0.5	8400±210	23400±930	57000±7140
鳥ノ内	9±0.3	62±0.4	66±0.6	8100±210	20700±750	49500±3510
市平	13±0.3	65±0.6	75±0.4	10800±330	18300±1020	53700±4530
福島大葉	13±0.3	95±0.4	101±1.0	20700±600	41100±1650	172100±12420
遠州高助	13±0.3	88±0.6	97±0.6	11700±210	17400±840	43800±2670

2. 肥料に依つて異なる傳導度

第 3 表

(31/7-1/8. 1936調査)

項目	硬 度 (度)			電 氣 傳 導 度 (ohm)			新梢一株 收穫量 (Kg.)
	軟 葉	中 葉	硬 葉	軟 葉	中 葉	硬 葉	
化學肥料	11±0.3	34±0.3	43±0.5	5400±150	16800±1020	36900±3120	(春) 1.856
自給肥料	13±0.2	38±0.4	44±0.4	8700±270	24000±870	60900±11670	1.972
無肥料	14±0.3	36±0.6	47±0.4	12000±210	31500±2970	68400±2744	0.344

3. 仕立法に依つて異なる傳導度

第 4 表

(30/7-31/7. 1930調査)

項目	硬 度 (度)			電 氣 傳 導 度 (ohm)			新梢一株 收穫量 (Kg.)
	軟 葉	中 葉	硬 葉	軟 葉	中 葉	硬 葉	
高刈仕立	11±0.2	25±0.3	28±0.4	9300±480	33900±5340	72000±10890	(春) 1.578
中刈仕立	11±0.3	30±0.3	34±0.4	6300±360	17700±930	37500±4020	1.286
根刈仕立	14±0.3	27±0.5	36±0.3	5100±210	9300±480	18900±960	1.691

4. 葉位に依つて異なる含水量、硬度及び傳導度

第 5 表

(9-10/7. 1936調査)

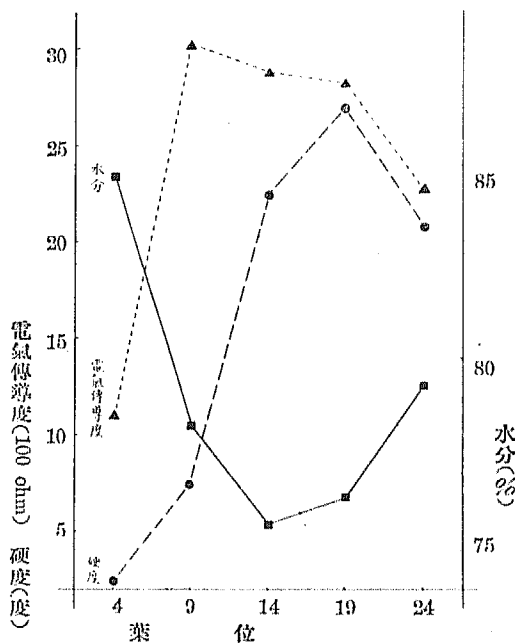
項目	水 分 (%)	硬 度 (度)	電氣傳導度 (ohm)
葉位 4	84.72±0.61	2±0.29	11014±1413
9	78.28±0.87	8±1.41	30248±2601
14	75.72±0.33	22±2.10	28823±1155
19	76.38±0.57	27±3.52	28388±1560
24	79.32±0.46	31±3.03	22875±1686

各區10箇所計50箇所の調査に成る水分、硬度及び傳導度各々の Standard deviation 及び Correlation coefficient を算出せば次の如し。

	平均値	變異係數
水分	78.95±0.37%	4.84±0.33%
硬度	16.80±1.19度	73.90±7.29%
傳導度	26352±912ohm	34.80±2.64%

相 關 係 數	{	硬度と水分	-0.585±0.066
		傳導度(抵抗)と水分	-0.553±0.067
		硬度と傳導度(抵抗)	+0.419±0.078

第三圖 葉位に依つて異なる水分、硬度及電気傳導度



B. 桑 條

1. 電極壓入の深度に依つて異なる傳導度

第 6 表

(17/8. 1936調査)

傳導度	深 度	$1/2 \times \gamma = 2\text{mm}$	$\gamma = 4\text{mm}$	$1.5 \times \gamma = 6\text{mm}$
	ohm		15202±761	10535±469
γ を100とせる指數		144	100	72

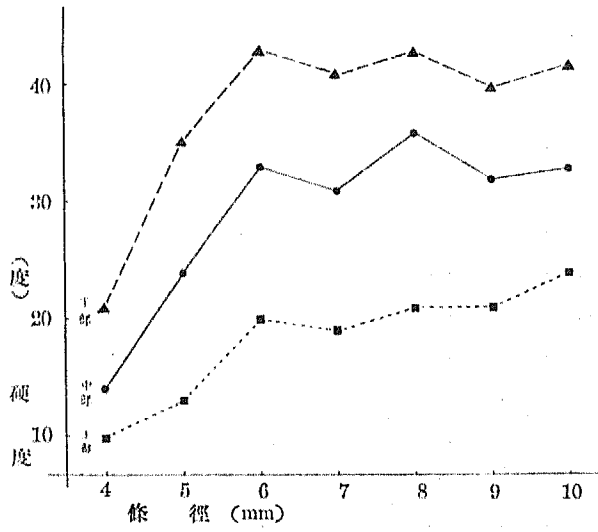
2. 細太に依つて異なる傳導度

第 7 表

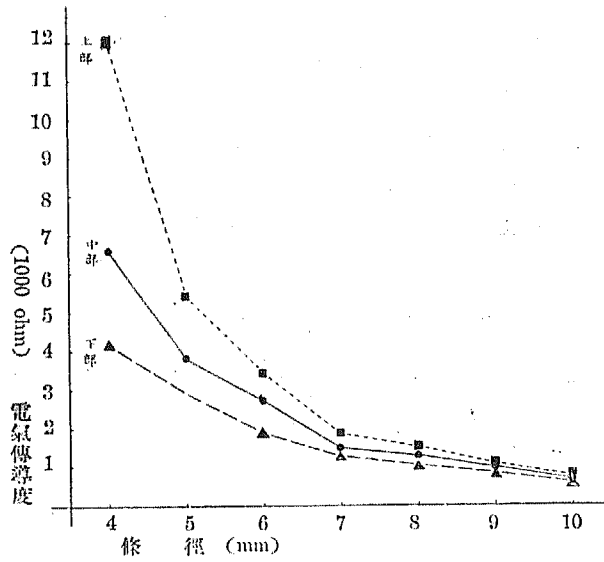
(23—29/7. 1936調査)

項 目 條徑(mm)	硬 度 (度)			電 氣 傳 導 度 (ohm)		
	上	中	下	上	中	下
4	10±0.3	14±0.3	21±0.3	121200±46400	66000±14210	42000±4240
5	13±0.3	24±0.6	35±0.7	54800±5880	38000±1760	29600±1400
6	20±0.3	33±0.7	43±0.8	34800±1640	27600±3040	19600±280
7	19±0.4	31±0.6	41±0.6	19200±2160	15200±280	13200±200
8	21±0.3	36±0.4	43±0.5	15600±840	13200±680	10800±460
9	21±0.5	32±0.8	40±1.6	11200±1040	10000±920	8800±800
10	24±0.6	33±0.5	42±1.4	8000±640	7200±560	6400±400

第四圖 枝條の細太に依つて異なる硬度



第五圖 枝條の細太に依つて異なる電気傳導度



3. 桑品種に依つて異なる傳導度

第 8 表

(17-24/7. 1936調査)

項目 品種	條 徑 (mm)			硬 度 (度)			電 氣 傳 導 度 (ohm)		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下
一ノ瀬青木	4.6±0.13	5.2±0.13	5.9±0.07	6±0.5	17±1.2	23±1.3	6800±160	6000±160	5600±160
鼠 返	4.5±0.12	5.2±0.11	5.8±0.11	8±0.4	17±0.5	26±1.2	8000±280	6800±200	6000±120
十 文 字	4.8±0.08	5.4±0.07	6.0±0.05	7±0.2	17±0.4	29±0.4	7600±240	7200±280	6000±120
北 堀 桑	4.7±0.08	5.3±0.11	6.1±0.11	7±0.3	19±0.5	28±0.5	6800±200	6000±240	4800±160
改良魯桑	4.5±0.14	5.2±0.08	6.0±0.11	8±0.3	19±0.3	30±0.5	6800±200	5600±160	4800±160
富 榮 桑	4.6±0.05	5.1±0.05	6.0±0.05	8±0.1	21±0.7	32±0.4	6400±160	5600±160	4800±120
多胡早生	4.1±0.05	5.0±0.14	6.0±0.13	10±0.5	22±0.8	33±0.8	8400±400	7600±280	6800±240
改良鼠返	4.8±0.08	5.4±0.10	6.1±0.11	10±0.5	23±0.6	32±0.8	7200±360	6400±320	6000±200
烏 ノ 内	4.2±0.08	5.0±0.09	6.0±0.09	11±0.6	28±1.1	39±0.9	6800±320	6000±400	5200±280
市 平	4.2±0.08	5.1±0.06	6.0±0.07	12±0.3	26±0.7	38±1.2	9600±320	8800±280	7600±300
福島大葉	4.4±0.13	5.3±0.08	6.1±0.05	10±0.3	25±0.7	34±0.8	10400±200	9200±200	8000±280
遠州高助	4.4±0.12	5.4±0.07	6.0±0.07	9±0.2	22±0.5	33±0.8	6400±120	6000±120	5200±120

4. 肥料に依つて異なる傳導度

第 9 表

(4/8. 1936調査)

項目 區別	條 徑 (mm)			硬 度 (度)			電 氣 傳 導 度 (ohm)			新梢一 株收穫 量 (kg)
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
化學肥料	4.7±0.07	5.2±0.07	6.2±0.07	14±0.3	21±0.5	27±0.8	12800±320	10400±200	7600±160	(春) 1.856
自給肥料	4.7±0.08	5.3±0.08	6.2±0.07	14±0.4	22±0.5	33±0.5	12000±360	9600±200	6800±120	1.972
無肥料	4.8±0.08	5.4±0.07	6.2±0.07	22±0.5	32±0.5	38±0.4	16000±840	10000±360	8000±240	0.344

5. 仕立方に依つて異なる傳導度

第 10 表

(4/8. 1936調査)

項目 區別	條 徑 (mm)			硬 度 (度)			電 氣 傳 導 度 (ohm)			新梢一 株收穫 量 (kg)
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
高刈仕立	4.7±0.08	5.3±0.08	6.3±0.08	17±0.4	23±0.3	31±0.3	22800±900	16800±280	13200±320	(春) 1.578
中刈仕立	4.7±0.08	5.3±0.08	6.2±0.08	13±0.3	23±0.4	32±0.4	22000±520	16800±320	12400±200	1.286
根刈仕立	4.7±0.08	5.3±0.08	6.2±0.10	13±0.3	23±0.4	34±0.3	23600±840	16400±520	12000±200	1.691

6. 晝夜に依つて異なる傳導度

第 11 表

(10/8, 1936調査)

風 別	項 目			硬 度 (度)			電 氣 傳 導 度 (ohm)		
	條	徑 (mm)		上	中	下	上	中	下
晝 8.A.M.	5.2±0.1	7.2±0.2	8.5±0.1	25±0.8	41±0.6	52±0.6	14400±400	12400±280	10400±250
夜 8.P.M.	5.3±0.1	7.3±0.2	8.3±0.1	26±0.5	39±0.5	48±1.0	11600±280	9200±280	8000±360

7. 位置に依つて異なる含水量、硬度及び傳導度

第 12 表

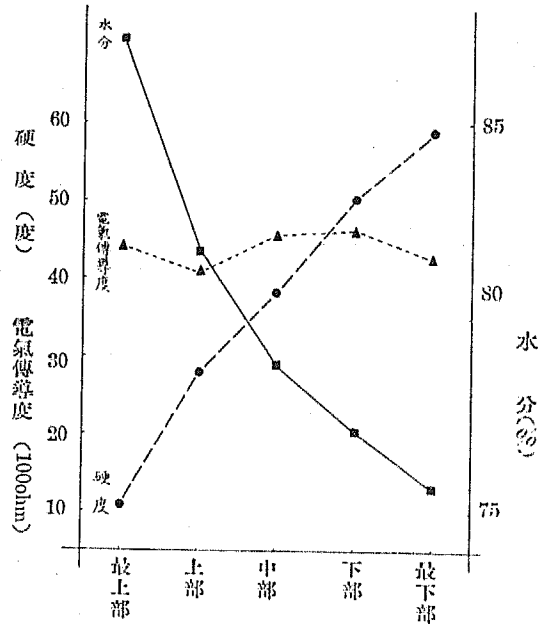
(9—10/7 1936調査)

5等分せる位置	項 目	條 徑 (mm)	水 分 (%)	硬 度 (度)	電 氣 傳 導 度 (ohm)
最 上 部		5.1±0.2	87.18±0.62	11±0.87	4435±148
上 部		6.5±0.2	81.74±0.69	28±1.07	4086±219
中 部		7.9±0.3	78.79±0.53	38±0.93	4570±225
下 部		9.1±0.3	77.08±0.45	50±1.35	4620±288
最 下 部		10.4±0.3	75.64±0.53	59±2.03	4250±253

桑葉の場合と異り各區直徑を異にせるものなるが故に斯くすることは不合理なるも、試みに各區10箇所計50箇所の調査に成る水分硬度及び傳導度各々の Standard deviation及び Correlation coefficient を算出せる結果は次の如し。

	平均價	變異係數
水 分	80.08±0.43%	5.58±0.38%
硬 度	37.1±1.63度	46.17±3.72%
傳 導 度	4392±49ohm	16.67±4.80%

第六圖 桑條の位置に依つて異なる水分硬度及び電気傳導度



相關係數	{	硬度と水分	-0.903±0.018
		傳導度(抵抗)と水分	-0.280±0.088
		硬度と傳導度(抵抗)	+0.025±0.095

III. 考 察

電氣傳導度測定上最も攻究を要するは電極なり。桑葉に於ける著者考案の電極は、葉の厚さ、葉脈の有無に依つて異なる可し。又桑條に於ける著者考案の電極は其の壓入の深度及び供試枝條の細太に依つて異なること成績の示すが如し。従つて調査成績に見る如く含水量多き軟葉に於ては抵抗小なるも、之に反して桑條に於ては先端部に於て其の抵抗大なり。是れ直徑小なる枝條に於ては大なるものよりも壓入の程度少く極の接觸面少き爲め直徑大なる枝條より其の含水量多きにも拘らず抵抗大となれるものなり。

條の大小を問はず極の壓入度を一定ならしむることは homogeneous ならざる條の組織に對して不合理なる故、著者考案の立木硬度計同様、桑條の電極も亦條の半徑に等しき長さを壓入して其の供試條の傳導度を計測することゝせるものなり。

従つて桑條に於ける傳導度及び硬度の數値は必須條件として等しき太さの條に於ける場合のみ相互比較對照し得るなり。

試みに行へる品種、肥料、仕立方に對する前掲成績の示す通り硬度と共に傳導度も亦桑樹生態調査項目として興味ある數値を得らるゝことを窺ひ得らる。

硬度、傳導度及び水分3項目の相關々係に於て、桑葉に於ては±0.5内外の coefficient を得たり。然るに枝條に於ては水分と硬度との coefficient -0.9 なるも、傳導度は -0.3 なり。是れ條徑に依つて異なる深度に對する傳導度の差、樹液中の電解質の差等に依つて水分との相關々係を亂せるに依るならんか。

傳導度と水分との關係を追及すると同時に葉液及び樹液中の電解質に關する研究も亦重要なり。晝夜に依りて傳導度の異なることは、這般の消息を物語るものなるべし。

生育中の同一桑樹につき、時季及び時刻を異にして傳導度に如何なる變化ありや、現に研究中なり。

各測定値毎に算出附記せる Mean error に依つて明瞭なる硬葉及び細條に於ける傳導度測定値の偏差に原因する誤差を小ならしむる方法に就ては一層の攻究を要することなりとす。

IV. 總 括

1. 著者は自ら考案せる電極を用ひ、桑葉及び桑條の電氣傳導度を計測して同じく著者の考案に成る硬度と比較しつゝ研究を進めたり。
2. 桑葉測定用の電極は著者考案の桑葉硬度計中の Sanplatinum-plate 及び steel ball を以て之に充當せり。
3. 桑條測定用の電極は2本の鋼鐵の圓柱を一定の間隔に絶縁併行せしめ、供試枝條の半徑に等しき長さ丈壓入せしめ得る様に組成せり。
4. 桑葉に於て軟葉、中葉、硬葉別に12品種の比較を行ひたる結果に見れば、概して硬度高き桑葉は抵抗大なり。軟葉に於て北堀桑は硬度7度にして傳導度は 6000 ohm なり。福島大葉は硬度13度にして傳導度 20700 ohm なり。中葉に於て遠州高助は硬度88度にして傳導度 17400 ohm なり。而して福島大葉は硬度95度にして傳導度 41100 ohm なり。硬葉に於て多胡早生は硬度74度にして傳導度 33300 ohm なり。而して福島大葉は硬度101度にして傳導度 172100 ohm なり。

5. 無肥料桑葉は肥料桑葉よりも硬度高く抵抗大なり。
6. 仕立方に於て刈り株の高きに從つて桑葉の硬度は低く抵抗は大なり。
7. 葉位に依つて異なる含水量、硬度及び傳導度の消長を見るに、水分は葉位進み枝條下部に向ふに從つて、其の%小なるも最下部の老葉は大なり。而して此の水分の消長と相對して硬度及傳導度(ohm)は消長せり。1枝條5箇所10本の枝條につき調査せる場合の變異係數は水分最小にして傳導度之に次ぎ硬度最大なり。
8. 上記の場合に於ける相關係數は下記の如し。

硬度と水分	-0.585±0.066
傳導度(抵抗)と水分	-0.553±0.067
硬度と傳導度(抵抗)	+0.419±0.078
9. 桑條に壓入する電極の深度深きに從つて抵抗小なり。
10. 枝條の條徑大なるに從つて硬度は大にして抵抗小なり。而して下部よりも中部上部と其の抵抗大にして、其の差細條に於て特に顯著なり。
11. 桑條に於ける品種別の硬度と傳導度との關係は顯著ならざるも、各品種例外無く上中下の順に硬度高く抵抗小なり。硬度概して高きは島ノ内、市平、福島大葉にして、低きは一ノ瀬青木、鼠返、十文字なり。抵抗最大なるは福島大葉にして其の上部は 10400ohm なり。而して最小なるは改良魯桑、北堀桑等の下部にして 4800ohm なり。
12. 無肥料桑條は肥料桑條に比して硬度高く抵抗も僅かに大なる傾向あり。
13. 仕立方に於ては硬度に於て、高刈の上部が中刈、根刈よりも高きのみにして他は顯著なる差異なし。
14. 晝間に比して夜間は枝條の抵抗小なる傾向あり。
15. 一枝條5箇所10本につき水分、硬度、傳導度を調査せる結果を見るに、水分は下部に向ふに從つて其の%小なり。而して硬度は例外無く下部に向ふに從つて高きも傳導度は一定の傾向無し。50箇所の調査に依つて算出したる變異係數を比較するに、水分は最小にして傳導度は之に次ぎ硬度は最大なり。
16. 上記の場合につき相關係數を算出せる結果は次の如し。

硬度と水分	-0.903±0.018
傳導度 (ohm) と水分	-0.280±0.088
硬度と傳導度 (ohm)	+0.025±0.095

(於 埼玉縣蠶業試驗場)

文 獻

1. Robinson (1926) An Electric method of determining the moisture content of living tissue. Ecology Vol. VII, No. 3,
2. 浦本政三郎 (1926) 生理學實習
3. 岡部康之 (1927) 桑樹の硬度に関する研究 埼玉縣蠶業試驗場報告第15號
4. 松井元太郎、淺井衛(1927) 電導度測定に交流ガルヴァノメーターの使用並に固定アンモニアの定量 工業化學雜誌第354號
5. 金子英雄 (1931) 生物々理學要論
6. 岡部康之 (1935) 桑葉の硬度に関する研究 蠶絲學雜誌 第8卷第1.2號
(受理 昭和4年8月20日)

正誤 (蠶絲學雜誌第8卷第1~2號) P.3 電気傳導度中 R_1 は $\left(\frac{R\text{の抵抗}}{R\text{'の抵抗}}\right)$ 列 削除
P.13 ohm の單位は 10000ohm なり。

Studies on the electric conductivity of mulberry leaves and stems

Yasuyuki OKABE

(Received, August 20, 1936)

Résumé

1. The author measured the electric conductivity of the mulberry leaves and stems by using a special electrode which was designed by himself.

2. The electrode consist of two steel columns being insulated with fixed distance in parallel.

3. The electric conductivity and the water content of tissues are quite different according to the hardness of the leaves. The harder leaves has generally high resistance. The highest resistance is found in the race of Fukushimaōha measuring about 172100 ohms and the least in Kitaborisō measuring about 6000 ohms.

4. Leaves from the trees planted in the soil of scanty manures have high resistance and hard tissues when compared of those from the fertile soil.

5. The conductivity is less in the leaves of upper part than those from the lower part.

6. The variability on the water content, the hardness and the conductivity of the leaves are different according to the position of the leaves. The lower the position the smaller the percentage of water content of stems.

7. The correlation coefficients between any pair of the measurements mentioned above are as follows.

Hardness and water content	-0.585 ± 0.066
Electric conductivity and water content	$+0.553 \pm 0.067$
Hardness and electric conductivity	$+0.419 \pm 0.098$

8. The conductivity of the stem is better in the deeper parts and in the large stems or in the lower parts notwithstanding its hardness, while worse in the upper parts.

9. The racial difference on the conductivity and the hardness of the leaves are not conspicuous from the author's measurements. But the tendency is the same that the conductivity of the stem is less in the upper part while the hardness of stem is reversed. The highest resistance is found in the upper part of Fukushimaōha recording 10400 ohms while its lower part was 4800 ohms.

10. The conductivity of the plant cultured in the soil of scanty manures is a little higher than the plant from the fertile soil. The tissue of the former is harder than the latter.

11. The conductivity becomes greater in the day time and smaller in the night time on the same plant.

12. The water content and the hardness of the stem are great in the higher part of the plant.

13. The correlation coefficient between any pair of the measurements already mentioned are as follows.

Hardness and water content	-0.903 ± 0.018
Electric conductivity and water content	-0.280 ± 0.088
Hardness and electric conductivity	$+0.025 \pm 0.095$

(The Sericultural Experiment Station,
Kumagaya, Japan)