

コガネムシ幼虫に対する電撃の影響 (第2報)

供試虫の選定と虫体の電気抵抗測定

助手 立 花 観 二

Kanji TACHIBANA:

Influence of electric shock on white grubs. (II)

Measurement on electric resistance of larvae of
Xylotrupes dichotomus L.

目 次

I. 緒 言	169	(iv) 体皮抵抗	176
II. 供試虫の選定	170	(a) 体皮切片による抵抗測定	176
1. 種 名	170	(b) 体皮外部を挟むことによる 抵抗測定	177
2. カブトムシ幼虫形態の概略	170	(v) 全体抵抗	178
3. カブトムシの経過習性	171	(a) 洗濯挟み式電極による抵抗測定	178
III. 虫体の電気抵抗測定	172	(b) 注射針式電極による抵抗測定	179
1. 測定部位	172	(vi) 体皮と電極との間に電解液挿入の 場合	182
2. 測定方法	172	(vii) 標準溶液中で示す使用電極の抵抗	182
(i) 体液, 消化液などの測定法	172	4. 考 察	184
(ii) 体皮, 虫全体などの測定法	173	IV. 摘 要	186
3. 測定結果	174	V. 参考文献	187
(i) 体液抵抗	174	Résumé	188
(ii) 消化液抵抗	175		
(iii) 体液と消化液との混合液抵抗	175		

I. 緒 言

筆者は前報で、海岸砂土中のコガネムシ幼虫におよぼす高電圧の致死効果に対して、虫の生死判定による現象面からの考察を加えた。今後は、この考察にもとづいて、電氣的殺虫効果を生理学的に解明することを目標に研究をつづけていく。

土壤中の虫体に加電する場合、その殺虫効果は土壤の諸要因、特に電気抵抗を支配する含有水分、pH その他によつて大きな影響をうける。したがつて、殺虫効果を追求するには、この不安定な土壤条件の介在が、いたずらに問題を複雑なものとする。そこで、まず直接虫体に電氣的処理を加え、その生理的影響を調査しその解明後に、あらためて土壤中の虫体におよぼす電氣的殺虫効果を検討する。この検討は、土壤および虫体の電気抵抗と、土壤中の電力線の変化を知ることによ

つてきわめて容易である。

さて、前報ではヒメコガネ老熟幼虫を供試虫としたのであるが、今後は大型であるために観察および解剖操作に有利であり、しかも飼育の容易であるという理由で、同じコガネムシ科に属するカブトムシ3令幼虫を使用する。

なお、本実験を実施するにあたって示された当森林動物学教室日塔正俊教授の絶えざる御指導と、備品貸与の便を与えられ、しかも有益な御助言の数々をいただいた電力中央研究所農電研究所渡部一郎氏ならびに本学造林学教室根岸賢一郎氏、そして供試虫の飼育に御協力のあつた三明寺苗畑主任杉山隆義氏に対して、それぞれ深甚なる謝意を表する。

II. 供試虫の選定

カブトムシ3令幼虫を、今後の実験の供試虫に選んだ理由については、すでに緒言で記述した通りである。その後飼育をつづけていくうちに、さらに好都合と思われる二、三の点に気付いた。それは、3令幼虫の期間がきわめて長いこと、また成虫の出現時期に相当大きな幅のあることなどである。このことは、3令幼虫という限定された材料を、比較的随時に入手出来ることを意味しており、実験を行う上にきわめて有利な条件といえる。なお、本種については、これまでに生活史その他について詳しく記載されたものを知らない。したがつてこの機会に、飼育中の観察記録をもとに、カブトムシの形態および経過習性などのうち、特に実験上必要と思われるものだけを選んで以下に記述する。

1. 種名

成虫については、「サイカチムシ」、「カブトムシ」などと呼ばれてわれわれに馴染み深いものである。コガネムシ科 (Scarabaeidae) のカブトムシ亜科 (Dynastinae) に属し、カブトムシ *Xylotrupes dichotomus* LINNÉ と称する。

2. カブトムシ幼虫形態の概略

体は白色あるいは黄白色、頭部は黒褐色、気門は濃褐色そして前胸硬皮板と脚は淡黄褐色などであり、全体は円筒状で腹部中央より尾節にかけてやや肥大し、静止の場合は常に体をC形に彎曲している。頭部は前方からみるとほぼ円形、頭蓋は半円形で光沢を有し、粗い点刻がある。胸部は3節、腹部は10節の計13節からなつており、全面に褐色の短刺毛を生じている。胸部第1節および腹部第1節から8節までの側面にそれぞれ1対、全部で9対の気門があり、第1節のそれは前胸硬皮板の後縁下部にある。各環節には2~3条の縦じわがあつて肛門は横裂である。脚は3対で細長い。頭部の大きさは各令期についてはほぼ一定であるが、体の大きさは蛹化直前の老熟幼虫でも個体による大小の差異が目立ち、したがつて成虫の大きさにも著しい差異がある。第1表は、飼育期間中の、主として、1956年7月から12月の間に、随時とり出してアルコール漬標本とした幼虫のうちから、各令期40頭宛を無作為に抽出し、その頭幅、頭

同一棲息環境域においても、その成虫出現期には相当大きな幅があるようで、沼津の三明寺苗畑ではそれが5月中旬から9月下旬にかけてみられる。また、同苗畑における螢光灯への飛来状況をみると、この成虫出現期間中の1日あたりの飛来頭数は余り大きな変動のないまま終始しており、コガネムシの多くの種にみられるような成虫出現最盛期と指摘出来る期間がない。

その生活史の概要を、前記苗畑における調査と、室内飼育とから得られた資料によつて示すと第1図のようで、これから実験材料である3令幼虫の入手は、年間いずれの時期にも随時可能であることが判る。なお室内飼育はきわめて容易で、堆肥をいれたポット中に、成虫数対を放飼しておくとその堆肥中に産卵し、これが孵化して幼虫となる。幼虫の摂食期間中には、1ヵ月2回ほどの堆肥交換をするくらいでよい。

III. 虫体の電気抵抗測定

電撃処理の際、虫体に与える電気エネルギーを電氣量と電位差の積で、またその電氣量を電流の強さと時間との積、電位差を電流の強さと虫体抵抗の積でそれぞれ表わすことが出来ることは周知のとおりである。また、オームの法則によると、電流が虫体を流れるとき、その強さは虫体の両端における電位差と、その虫体のもつ抵抗との比に等しい。このように、虫体内における電氣的作用とその殺虫機構を究明する上に、虫体の電気抵抗を知ることはきわめて重要な意味をもっている。しかも、虫体と土壤の電気抵抗の値によつて、その電力線にもまた変化を与える。こういった理由で、まず虫体の電気抵抗測定の問題を採り上げたのである。

1. 測定部位

虫体は水あるいは金属のように等質ではない。体皮、筋肉、内臓器官、体液、消化液など異質のもので虫体が出来ている以上、全体としての抵抗は測定出来ても比抵抗を求めるわけにはいかない。土壤中における殺虫効果を知る場合に必要なものは全体抵抗であり、またこの際虫体内の生理的变化にあずかる主要な部分は体皮、体液、消化液であると考えられるから、これらの抵抗についてそれぞれ測定した。

2. 測定方法

測定部位ならびに組織と溶液との差異によつて、まず虫体の全体抵抗と体皮抵抗、それに体液と消化液の各抵抗との二つに測定法を大別出来る。

(i) 体液、消化液などの測定法

一般の溶液抵抗測定法に準じて電気伝導度測定容器(第2図A)をブリッジに接続した。電極には白金黒電極を用いたが、これは液との接触面を増し、分極を少くしブリッジの平衡検出を明瞭にさせるためである。しかし電極の断面および長さはともに一様ではないので、予めKClの標準溶液の電気抵抗を測定し、その後 $\rho = \rho' \frac{W}{W'}$ 式*1によつて比抵抗を算出した。基準にした標

*1 $\rho = \rho' \frac{W}{W'}$ $\left\{ \begin{array}{l} \rho : \text{未知比抵抗} \\ \rho' : \text{既知比抵抗} \end{array} \right.$ $\left\{ \begin{array}{l} W : \text{抵抗未知液を用いて測定した容器全体としての抵抗} \\ W' : \text{抵抗既知液を用いて測定した容器全体としての抵抗} \end{array} \right.$

準溶液の電気抵抗を第2表に示す。

なお、体液の採取は幼虫の胸部背脈管表面の体皮を鉋で切削することにより、また、消化液の採取は幼虫の腹部2カ所をそれぞれ銅線で巻き、これに 100 V. を加電する(回路中に可変抵抗器を挿入)

Table 2. Electric resistances of KCl standard solution. (ohm)

	10°C	15°C	18°C	20°C	25°C
0.01 N	980.392	871.839	816.326	782.473	707.714
0.02 N	501.504	445.831	417.188	399.840	361.663
0.1 N	107.181	95.419	89.366	85.689	77.639

(本川 p. 258.)

ことよつて行い、これらが空気に触れて変色あるいは凝固するのを防ぐために、オリーブ油のはいつた容器に入れて測定を行つた。このようにすれば、体液あるいは消化液ともにオリーブ油の下に沈み、しかも空気と遮断されて変化をうけることがない。

電気抵抗測定装置には、横河電機製作所製 BV-Z-103 A 型万能ブリッジを使用し、検出器端子には、マジックアイ同調指示器を接続した。この万能ブリッジには小型発振器 (DV-102A 型) が付属しており、出力は負荷 10~10,000 オームで 20 mW 以上、発生周波数 1,000c/s±50 c/s

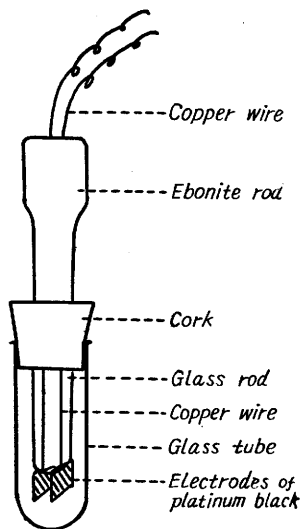


Fig. 2 A. Electrode of platinum black used when the electric resistance of solution was measured.

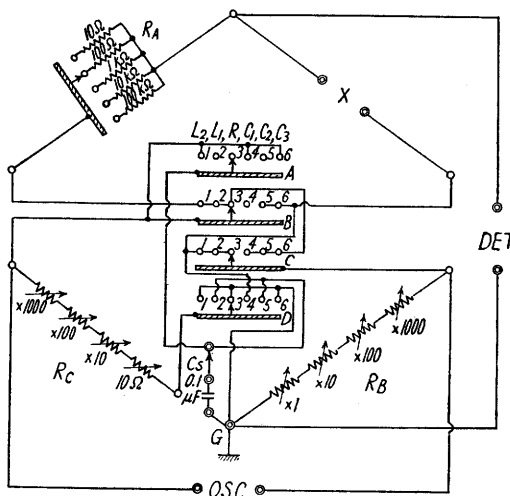


Fig. 3. Circuit of universal bridge used to measure electric resistance.

DET: Detector, OSC: Oscillator

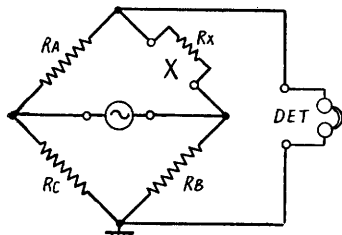


Fig. 4. Circuit used to measure the electric resistance of blood or digestive fluid. DET: Detector

の性能をもっている。本測定装置の主なる回路は第3図に示す通りであり、この場合の測定回路は第4図のように構成される。ブリッジの平衡が得られたとき、 $R_x = \frac{R_A}{R_C} \cdot R_B$ 式によつて、 R_x すなわち前式の W, W' を算出する。

(ii) 体皮、虫全体などの測定法

完全な虫体のままの抵抗測定はきわめて困難であるが、0.6 × 0.6 cm の銀板を片面にはりつけたベークライト製洗濯挟み

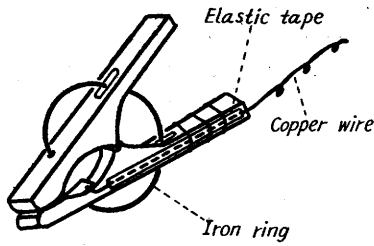


Fig. 2B. Forceps-type electrode used when the electric resistance of tissue was measured the surface of the body.

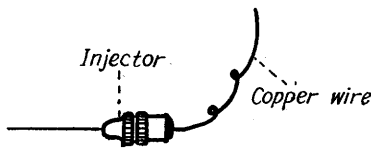


Fig. 2C. Needle-type electrode used when the electric resistance of tissue was measured the inside of the body.

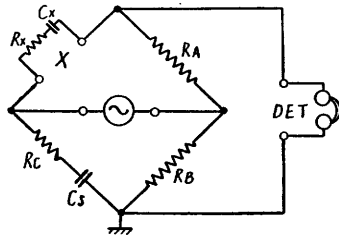


Fig. 5. Circuit used to measure the electric resistance of cuticle or whole body.

DET: Detector

Cs : 0.1 μ F

(第2図B) および径 0.5 mm 注射針 (第2図C) などの電極によつて虫体の各部分を挟み, あるいは突き刺してその両極間の抵抗を測定することは可能である。しかし, 一般に生体組織の抵抗測定にあつては, 生体と電極との接触面におこる分極作用と, 生体のもつ電気容量のためにその測定は困難である。

交流電源の場合, 直流のオーム抵抗と同様に作用するのはインピーダンス (抵抗部分とリアクタンス部分とよりなる) であるから, 本川の生体組織のインピーダンス測定法にしたがう。測定方法は (i) と同様であるが, 測定回路は第5図のように構成され, 0.1 μ F の標準コンデンサーが R_C に直列に接続される。同図で生体組織のインピーダンスは抵抗 R_X と容量 C_X とによつて表わすことが出来る。この場合, 抵抗と容量とは直列であるとみなして平衡させようとした。したがつてその抵抗値は, $R_X = \frac{R_A}{R_B} \cdot R_C$ 式によつて算出することが出来, その容量は $C_X = C_S \cdot \frac{R_B}{R_A}$ (μ F) (ただし $C_S = 0.1 \mu$ F) で求めることが出来る*2。また, これらの抵抗と容量とは, 交流電源の周波数によつても異なるものであるから, 広い範囲に周波数を変化させて測定を行う必要がある。このため, 交流電源には, 本器付属の小型発振器の代りに,

春日無線 K. K. 製 Trio AG-8 型発振器を使用し, 200 c/s, 500 c/s, 1 kc/s, 1.5 kc/s, 2 kc/s, 5 kc/s, 10 kc/s, 20 kc/s の8種周波数について測定した。

なお, これら抵抗測定は, 3令幼虫各期の変動を知るために, 1956年9月, 11月および翌年3月の3回にわたつてくり返した。その際の室内平均温度はそれぞれ 20°C, 15°C, 17°C であつた。

3. 測定結果

(i) 体液抵抗

1956年9, 11月および57年3月の3回にわたつて, 3令幼虫5頭宛の体液を, 前記ブリッジによつてそれぞれ測定し, その値を $\rho = \rho' \frac{W}{W'}$ 式に代入し, 得た体液の比抵抗値を第3表に

*2 今回は容量についての記載は省略する

Table 3. Electric resistances obtained by the measurement of blood in 2nd and 3rd instar larvae, and that of Ringer solution. (ohm)

	I (Sept. 1956)	II (Nov. 1956)	III (Mar. 1957)	
3rd Instar	1	192.53	221.42	232.67
	2	194.77	221.61	227.37
	3	190.61	216.57	228.43
	4	189.23	217.25	229.52
	5	192.95	213.33	227.58
M±S	192.02±2.15	218.03±3.67	229.11±2.16	
2nd Instar	211.09	Ringer	206.40	

示す。なお、第1回測定期において2令幼虫の体液比抵抗と、生理食塩水(昆虫用)*3の比抵抗とをそれぞれ求めたので併記しておく。同表によると、体液の比抵抗は190~230オームであつて、同一測定期の値は互に近似しており個体差は少い。しかし測定期が相異すれば、その値にやや変動があつて、これら同一令期のものも、老熟につれて増大の傾向を示す。また、第1回測定期の3令幼虫の比抵抗と、同期の2令幼虫のそれは、後者がやや大きな値を示している。昆虫用生理食塩水の比抵抗が、体液の比抵抗ときわめて近似の値を示していることは興味深い。

(ii) 消化液抵抗

体液抵抗と同様に、測定期は3回であるが、1頭あたりの消化液量が少いので、3令幼虫3頭の消化液を1組とし、毎回3組宛の比抵抗を測定したものが第4表である。なお、第3回測定期において、後腸の内容物を含む腸液の比抵抗を求めたので併記しておく。同表によると、消化液の比抵抗は110~130オームであつて、同一測定期でその値には、やや大きな変動がみられる。しかし測定期の相異による比抵抗値に有意な差があるとはいえない。腸液とその内容物の比抵抗値は小さく、100オーム以下の値を示す。

Table 4. Electric resistances obtained by the measurement of digestive and enteric fluid in 3rd instar larvae. (ohm)

	I (Sept. 1956)	II (Nov. 1956)	III (Mar. 1957)	
Digestive Fluid	1	114.61	117.36	121.17
	2	128.32	125.79	126.53
	3	111.73	121.37	125.99
M±S	118.22±8.87	121.50±4.23	124.56±3.18	
Enteric Fluid	98.12			

(iii) 体液と消化液との混合液抵抗

腹部第5節以下を切除し、胸部および腹部第4節までの体液と消化液との混合液の比抵抗を、毎回3頭宛について求めたものが第5表である。同表によると、これらの混合液の比抵抗は140

*3 Hobson: NaCl 160.8 mol/l, KCl 3.0 mol/l, CaCl₂ 2.0 mol/l.

Table 5. Electric resistances obtained by the measurement of mix fluid in 3rd instar larvae. (ohm)

	I (Sept. 1956)	II (Nov. 1956)	III (Mar. 1957)
1	155.22	149.33	143.52
2	139.37	147.12	153.62
3	151.23	161.23	146.17
M±S	148.60±8.24	152.56±7.59	147.77±5.24

~160 オームであつて、(ii)と同様、同一測定期での値にやや大きな変動がある。この変動は、体液と消化液との混合歩合の相異によつておこる場合も多い。測定期の相異による比抵抗値に有意な差があるとはいえない。

(iv) 体皮抵抗

体皮抵抗および(v)の全体抵抗の二者は、第1, 2回測定期における測定法に誤りがあつたので、第3回測定期に得た結果だけについて記述する。

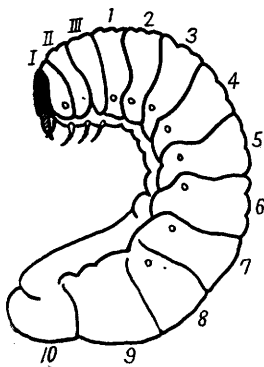


Fig. 6. Diagram of the 3rd instar larva of *Xylotrupes dichotomus* L. (lateral view).
I-III: The 1st-3rd segment in thorax.
1-10: The 1st-10th segment in abdomen.

体皮抵抗の測定には、洗濯挟み式電極を使用した。その際、体皮の各部分の切片(2×1 cm)を切削し、この内外面に電極をあてる方法と、完全虫体のまま、各部分の体皮を外部から挟む方法の二つを採つた。なお、測定部位を明確にするために、虫体の模式図として第6図を示す。この場合、胸部第2節背面部を III_D、腹部第5節腹面部を 5_V のように表示する。

(a) 体皮切片による抵抗測定

第6図に示す虫体の各部分、すなわち胸部第3節の腹、背面部(III_V, III_D)、同じく腹部第3, 9節のそれぞれ腹、背面部(3_V, 3_D, 9_V, 9_D)を中心とする体皮6切片を作り、内部を軽くガーゼでふきとつた後、その内外面に両極をあて、その抵抗を測定した結果を第6表に示す。この場合、測定回路に標準コンデンサーが直列にはいつており、200 c/s, 500 c/s, 1 kc/s, 1.5 kc/s, 2 kc/s, 5 kc/s, 10 kc/s, 20 kc/s の各種周波数についての値も測定した。同表をもとに、横軸に周波数の対数を、縦軸に

Table 6. Electric resistances of a piece of cut cuticle obtained by the measurement with a pair of forceps-type electrodes. (ohm)

	200 c	500 c	1 kc	1.5 kc	2 kc	5 kc	10 kc	20 kc
III _D	7,720	5,930	5,230	4,540	4,080	3,280	2,700	2,430
5 _D	6,620	5,680	4,760	4,250	3,710	2,810	2,530	2,140
9 _D	9,610	7,850	6,390	5,410	5,190	4,350	3,530	2,910
III _V	8,910	7,420	6,070	5,080	4,770	3,930	3,260	2,750
5 _V	7,320	6,140	5,060	4,250	4,160	3,180	2,470	2,130
9 _V	13,210	11,090	8,110	7,340	6,820	5,530	4,000	3,050

III_D: Dorsal part of the 3rd segment in thorax.

9_V: Ventral part of the 9th segment in abdomen.

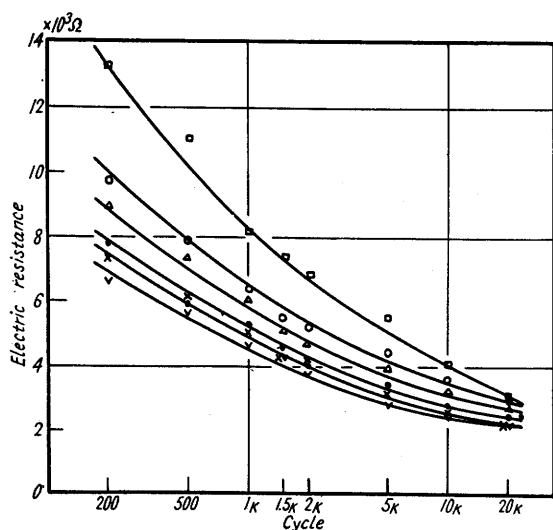


Fig. 7. Electric resistances measured on a piece of cut cuticle decreased with the increase of cycle.

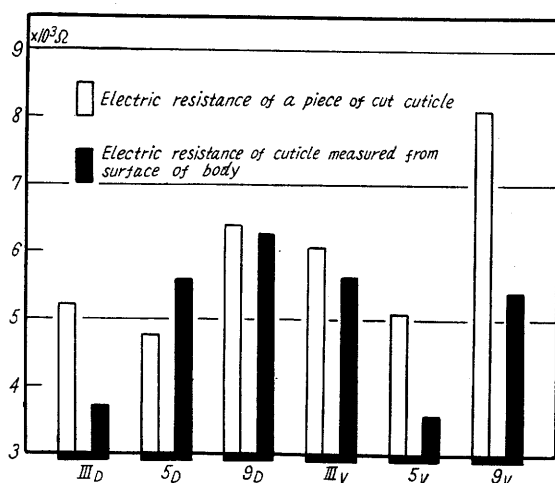


Fig. 8. Electric resistances of cuticle. (1 kc/s).

抵抗測定値をとつて図示したのが第7図である。同図によれば、周波数の増大につれ、逆に抵抗値は漸時減少し、ある一定値に近接の傾向を示すが、各種切片間にみられる抵抗値の差異も、周波数の増大につれて減少し、それら相互の値が近接してくる。さらに第6表をもとに各種切片の抵抗値のうち、周波数 1 kc/s についてのものを棒グラフで示したのが第8図(左)で、最小値が腹部第5節背面部体皮の4,760 オームであつて、同節腹面部、胸部第3節背面部、同節腹面部、腹部第9節背面部の順に増大し、同節腹面部体皮のそれが8,110 オームの最大値であることを示している。この測定の範囲内では、体皮切片の最小抵抗部分は腹部第5節(腹部中央部)であり、腹部第9節(腹部末端部)が最大抵抗部分であること、また、一般に背面部より腹面部の抵抗が大きいということが出来る。

(b) 体皮外部を挟むことによる抵抗測定

(a) で示したと全く同じ部分を、完全虫体のまま、外部から挟んでその抵抗を

測定した結果を第7表に示す。同表をもとにして描いた第9図は、(a) 同様に周波数の増大につれ逆に抵抗値の減少を示し、ある一定値に近接する。さらに各種部位の抵抗値のうち、周波数 1

Table 7. Electric resistances obtained by the measurement on cuticle from the surface of body. (ohm)

	200 c	500 c	1 kc	1.5 kc	2 kc	5 kc	10 kc	20 kc
III _D	8,230	5,540	3,710	3,320	2,840	1,870	1,620	1,190
5 _D	9,720	6,510	5,600	4,660	3,880	2,520	2,060	1,510
9 _D	11,820	8,130	6,270	5,490	4,530	2,940	2,260	1,720
III _V	9,440	6,270	5,620	4,170	3,970	2,370	1,780	1,320
5 _V	8,230	5,240	3,570	3,140	2,620	1,980	1,460	1,230
9 _V	9,880	7,230	5,400	4,940	4,080	2,870	2,140	1,640

III_D: Dorsal part of the 3rd segment in thorax.

9_V: Ventral part of the 9th segment in abdomen.

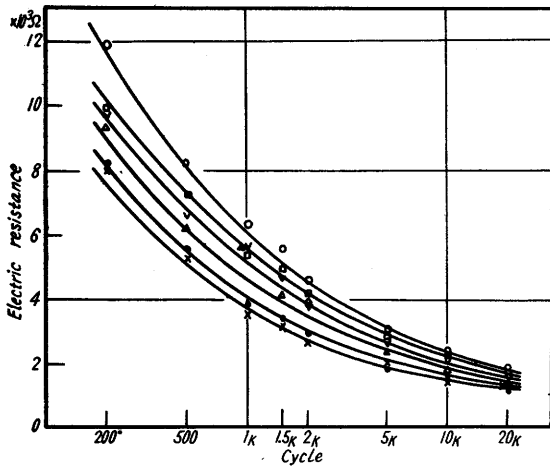


Fig. 9. Electric resistances of cuticle measured from the surface of body decreased with the increase of cycle.

kc/s についてのものを棒グラフで示したものが第 8 図 (右) であるが、これは腹部第 5 節腹面部の値が最小で 3,570 オーム、次いで胸部第 3 節背面部、腹部第 9 節腹面部、腹部第 5 節背面部、胸部第 3 節腹面部の順に増大し、腹部第 9 節背面部の 6,270 オームが最大であることを示している。この変動は、前述の体皮切片の場合とややその傾向を異にしているが、腹部第 5 節に最小値が、また腹部第 9 節に最大値のある点では一致を示す。

(v) 全体抵抗

完全虫体のまま、洗濯挟み式電極で虫体の各部分を挟むことにより、また注射針式電極で同じく各部位を突き刺すことにより、それぞれ両極間の抵抗を測定した。

(a) 洗濯挟み式電極による抵抗測定

胸部第 1 節背面部 (1_D) から、腹部第 1 節背面部 (1_D) までの間、また胸部第 1 節背面部 (1_D) から、腹部第 5 節背面部 (5_D) までの間などのように、各部位をこの洗濯挟み式電極で挟み、その間の抵抗 14 種について測定したものが第 8 表である。これは (iv) と同様に、計 8 種の周波数についての抵抗をそれぞれ求めたのであるが、表示の際の繁雑さを避けて、1 kc/s, 2 kc/s, 10 kc/s の 3 種周波数についての値を記載するにとどめた。この表示の際と同じ理由で、各部位間 5 種だけを選び、横軸に周波数の対数を、縦軸に抵抗測定値をとつて図示した第 10 図で明らかのように、周波数の増大につれて抵抗値は次第に減少し、ある一定値に近接の傾向を示し、しかも各部位間の種類および距離の差異にもかかわらず、比較的高周波数区 (10~20 kc/s) の抵抗値は互いに近接を示す。このような傾向は、他の 9 種についても全く同様である。さらに、これら 14

Table 8. Electric resistances of whole body measured by forceps-type electrodes. (ohm)

No.		Distances between Electrodes	1 kc	2 kc	10 kc	No.		Distances between Electrodes	1 kc	2 kc	10 kc
1	1 _D ~1 _D	2 cm	6,340	4,670	2,130	8	9 _D ~5 _D	4 cm	6,370	4,320	2,090
2	1 _D ~5 _D	4	7,190	4,820	2,560	9	3 _D ~5 _D	2	6,360	4,480	2,020
3	1 _D ~7 _D	4.5	7,970	5,000	2,850	10	5 _D ~7 _D	2	6,200	4,430	2,100
4	1 _D ~9 _D	5	8,640	6,000	2,850	11	3 _D ~7 _D	4.5	6,620	4,560	2,230
5	1 _D ~10 _A	5	6,890	4,630	2,250	12	III _l	1	6,770	4,770	2,130
6	1 _D ~5 _V	3	4,620	3,390	1,880	13	5 _l	1	6,920	4,720	2,380
7	9 _D ~7 _D	2.5	7,920	5,510	2,460	14	9 _l	1	6,210	4,410	2,130

1_D: Dorsal part of the 1st segment in thorax.
 5_V: Ventral part of the 5th segment in abdomen.
 5_l: Lateral part of the 5th segment in abdomen.
 10_A: Anus of the 10th segment in abdomen.

種の抵抗値のうち、周波数 1kc/s についてのものと、その極間距離とをあわせて棒グラフに図示したものが第 11 図である。同図の No. 1~4 のものについてみると、抵抗値が極間距離にともなう増大を示すようにみえるが、No. 5 以下のものによつて、必ずしも極間距離の差異のみによる抵抗値の変動ではないことが明らかとなる。すなわち、No. 6 においては、極間距離は比較的大きいにもかかわらず、抵抗値は極端に小さく、また同一距離を示す No. 9, 10 および No. 12~14 などでは、明らかに抵抗値の差異がある。この結果と、すでに (i)~(iv) で得た結果とを対比すれば、これら抵抗値の差異が主として体皮抵抗にもとづくものであり、これがさらに体液、消化液の各抵抗と、極間距離などにも影響されることが明らかとなる。

(b) 注射針式電極による抵抗測定
体皮抵抗測定の際に採つたと同じ部位、すなわち、胸部第 3 節腹、背面部 (III_v, III_D) および腹部第 5, 9 節腹、背面部 (5_v, 5_D, 9_v, 9_D) の計 6 カ所を中心に、極間距離 1 cm に固定した注射針式電極を深さ 7 mm で突き刺し、その部分の抵抗を測定したものが第 9 表である。また、(v) (a) と同様

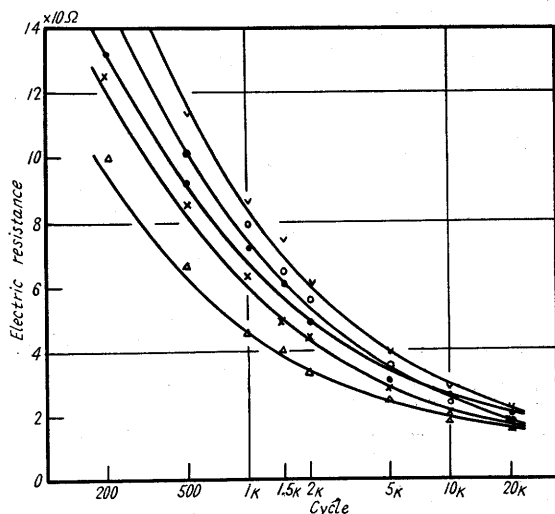


Fig. 10. Electric resistances of whole body measured by forceps-type electrodes.

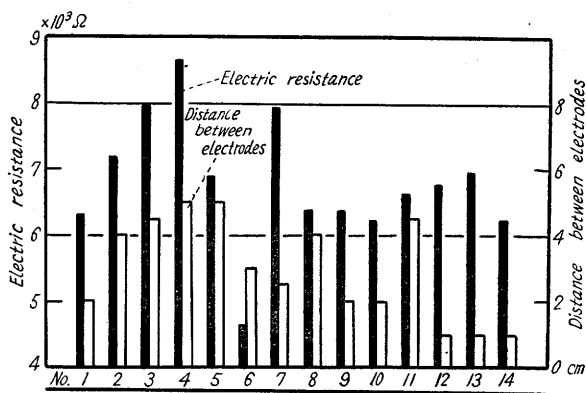


Fig. 11. Electric resistances of whole body measured by forceps-type electrodes (Left) (1 kc/s) and distances between electrodes (Right).

Table 9. Electric resistances of whole body measured by needle-type electrodes from the inside of body. (ohm)
(Distance between electrodes is 1 cm.)

	200 c	500 c	1 kc	1.5 kc	2 kc	5 kc	10 kc	20 kc
III _D	1,040	910	790	730	710	680	620	600
5 _D	460	390	330	320	290	270	230	210
9 _D	730	650	580	550	490	460	460	400
I _S ~1 _S	1,180	1,000	920	880	840	710	690	650
5 _S ~7 _S	610	500	430	400	320	310	280	260
8 _S ~9 _V	620	420	380	340	330	300	270	260

III_D: Dorsal part of the 3rd segment in thorax.
9_V: Ventral part of the 9th segment in abdomen.
5_S: Stigma of the 5th segment in abdomen.

Table 10. Electric resistances of whole body measured by needle-type electrodes from the inside of body. (ohm)

No.		Distances between Electrodes cm	1 kc	2 kc	10 kc	No.		Distances between Electrodes cm	1 kc	2 kc	10 kc
1	I _S ~1 _S	1	1,020	880	760	12	II _D ~9 _D	5.5	1,020	970	780
2	I _S ~I _D	0.5	760	760	640	13	II _D ~10 _A	6.5	1,100	1,020	840
3	I _S ~1 _D	1.5	760	710	630	14	II _D ~5 _V	3	960	880	770
4	I _S ~5 _D	3	870	760	660	15	9 _D ~7 _D	3	440	390	320
5	I _S ~9 _D	6	1,430	1,330	1,160	16	3 _D ~5 _D	2.5	340	310	280
6	I _S ~10 _A	7	1,490	1,300	1,140	17	5 _D ~7 _D	2.5	370	330	260
7	I _S ~5 _V	2	1,080	960	820	18	3 _D ~7 _D	5	470	410	330
8	I _S ~5 _S	2.5	900	810	670	19	3 _S ~5 _S	2	640	570	500
9	II _D ~1 _D	1	840	760	650	20	5 _S ~7 _S	1.5	500	460	400
10	II _D ~5 _D	4	890	810	680	21	3 _S ~7 _S	2.5	820	780	690
11	II _D ~7 _D	6.5	920	860	720						

I_S: Stigma of the 1st segment in thorax. II_D: Dorsal part of the 2nd segment in thorax. 5_V: Ventral part of the 5th segment in abdomen.

に、虫体の各部位、すなわち胸部第1節気門 (I_S) から腹部第1節気門 (1_S) の間、胸部第1節気門 (I_S) から胸部第1節背面部 (I_D) の間など、計21種の各部位間のそれぞれに同じくこの電極を 7mm 刺入してこの間の抵抗を測定したものが第 10 表である。いずれも、これまでと同じように 8 種の周波数についての抵抗値を求めたのであるが、第 10 表では (v) (a) と同じ理由で、1 kc/s, 2 kc/s, 10 kc/s の 3 種についての記載にとどめ他は省略した。これらの測定値にもとづいて横軸に周波数の対数を、縦軸に抵抗測定値をとつて図示したものが第 12, 13 図であるが、先と同じように後者においては、各部位間 5 種だけを選んで図示するにとどめた。これらの図で明らかのように、周波数の増大につれて抵抗値も漸時減少し、それぞれある一定値に近接の傾向を示すのであるが、その減少状況は著しく緩慢であり、しかも比較的高周波数区 (10 kc/s, 20 kc/s) などにおいても、部位別の抵抗値の差異は依然として大きい。さて第 9 表における値のうち、周波数 1 kc/s のものを部位毎に棒グラフで図示した第 14 図によると、腹部第 5 節背面部が

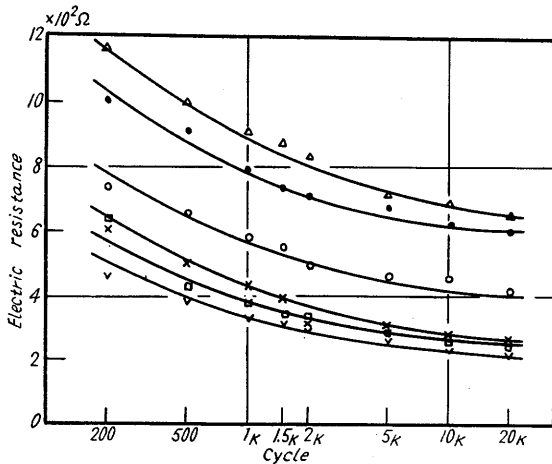


Fig. 12. Electric resistances of whole body measured by needle-type electrodes from the inside of body. (Distance between the electrodes is 1 cm.)

330オームの最小抵抗値を示し、つづいて腹部第9節腹面部、腹部第5節腹面部、同じく第9節背面部の順に増大し、胸部第3節背面部につづいて同節腹面部が最高の 920 オームとなつている。これより、腹部第5節 (腹部中央部) が最小抵抗で、胸部第3節 (胸部) が最大抵抗であることを知つた。また、同じく第 10 表における周波数 1 kc/s についてのものを、その極間距離とあわせて棒グラフで図示したものが第 15 図である。同図のうち、No. 15~18 と No. 1~4

の2グループを対比するだけで、極間距離が抵抗値の変動の主なる要因でないことは明らかである。むしろ、この場合は、第14図で示したと同じように、各部位におけるそれぞれの抵抗値の差異は著しく、しかもこれは体液、消化液、腸含有物などの抵抗値の差異によるものであると考えるべきであろう。すなわち、針刺入の際、比較的体液、脂肪体が多く、しかも筋肉部が多い胸部は抵抗が大きく、腸液やその内容物の多い腹部中央部や末端部の抵抗は小さい。

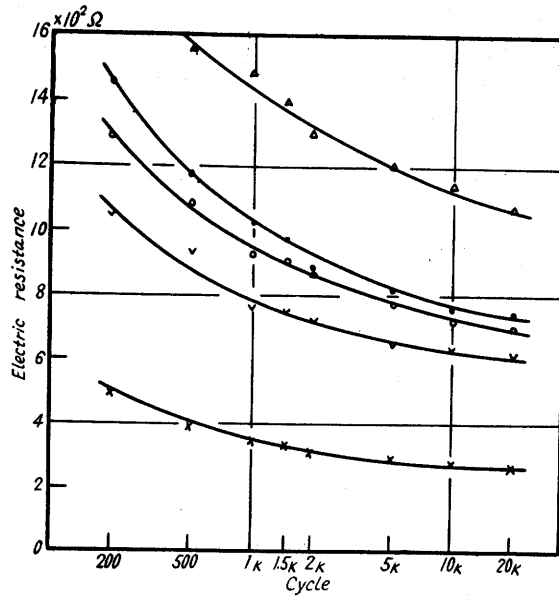


Fig. 13. Electric resistances of whole body measured by needle-type electrodes from the inside of body.

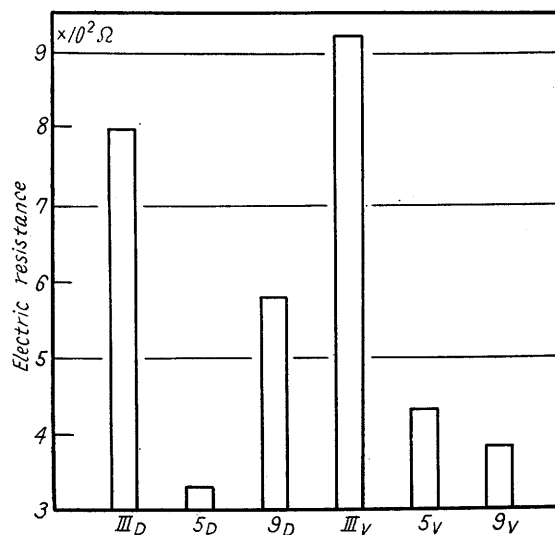


Fig. 14. Electric resistances of whole body measured by needle-type electrodes set in the distance of 1 cm.

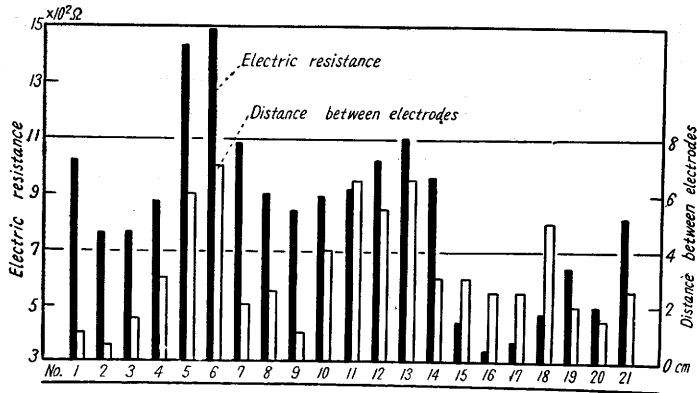


Fig. 15. Electric resistances of whole body measured by needle-type electrodes (Left) (1 kc/s) and distances between electrodes (Right).

(vi) 体皮と電極との間に電解液挿入の場合

これまでの抵抗測定によつて、体皮抵抗が他の測定部位と比べてきわめて大きな値であり、しかも切片による体皮抵抗測定の際、体皮内面の体液などの拭きとり方の相異によつて、その値も著しく変化することを知つた。このように、体皮と電極との間の接触抵抗が、体皮および全体抵抗に大きく影響するために、洗濯挟み式電極を用いその挟圧を等しくし、また虫体の接触部分の条件も同一にするように努め、一応満足出来る結果を得た。しかし、虫体外面の体皮と電極との接触条件の差異によつて、抵抗がどの程度変化するかを知つておくことも必要である。そこで、生理食塩水（脚註*3参照）、KCl (0.02 N, 1.0 N) の3種電解液をガーゼに浸漬し、これを体皮と電極との間に挿入しその抵抗値の変動をみた。これを第11表に示したのであるが、いずれも電解液を挿入しない場合に比べて著しい抵抗の減少を示している。また、その減少度合は、その電解液の比抵抗の大小とほぼ一致する。

Table 11. Electric resistances measured by forceps-type electrodes when electrolyte was inserted between the electrode and cuticle. (ohm)

	Ringer	KCl (0.02)	KCl (1.0)	None Insert
$I_D \sim 9D$	1,670	1,840	1,080	8,640
$I_D \sim 1D$	1,430	1,760	820	6,340
Specific Electric Resistance	206.4	417.2	10.2	

(vii) 標準溶液中で示す使用電極の抵抗

体皮抵抗および全体抵抗測定の際に用いた電極は、洗濯挟み式と注射針式の2種であるが、これらによつて測定し得た抵抗値は、いうまでもなくその電極固有の相対的値にすぎない。また、全体抵抗測定の際、極間距離の増大にともなう抵抗値の変動様式についても明らかでない。そのため、両電極が標準溶液中で示す抵抗値を求め、しかも同液中で示す極間距離変動にともなう抵抗値の変化を知ることは意義がある。特に前者は、溶液測定の際に行つた電気伝導度測定容器固有

の抵抗値を求めたと同じように、比抵抗値を導く一つの方法でもある。しかし溶液と生体組織とを同一に論ずることは甚だ危険であり、しかも両電極ともに分極作用が大きいためであるから、この際、あくまでも比抵抗近似値を予想するにとどめる。

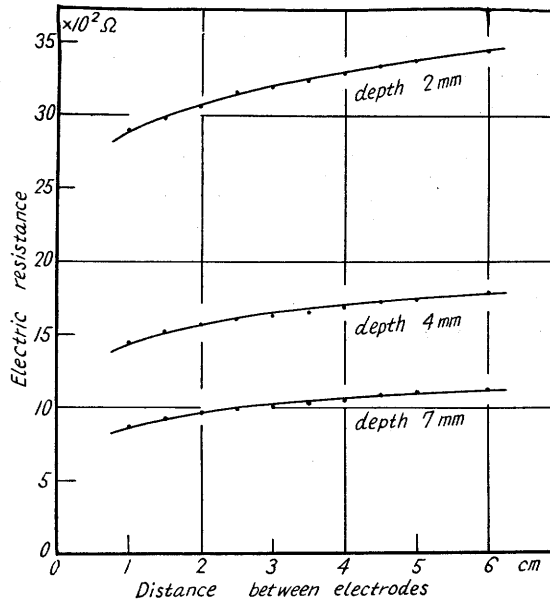


Fig. 16. Electric resistances of electrodes in standard solution set in different distance and depth.

KCl (0.02 N) の標準液中に、注射針を 2 mm, 4 mm, 7 mm の深さに浸漬し、1 cm から 6 cm の間の両極間の変動にもなる抵抗値の変化を第 16 図に示した。また洗濯挟み式電極によつて、同じく KCl (0.02 N) を含ませたガーゼ 3 枚〔体皮の厚さ (0.4~0.6 mm) にほぼ相当する〕を、体皮測定の際と同じ方法で挟み、その両極間の抵抗値を測定し、720 オームであることを知つた。なお、これらの値はいずれも周波数 1 kc/s についてのものを求めた。第 16 図で明らかなように、液中で示す抵抗値は、針の浸漬深度にほぼ逆比例するようであるが、極間距離の増大にもなる抵抗値の増大率はきわめて僅少である。しかもそれは、深度の減少と極間距離の増大につれて一層緩慢となる傾向を示す。また、これらの両極が液中で示す抵抗値から、(i) で行つたと同じ方法 (脚註*1参照) で次の二式を導くことが出来る。

$$\left. \begin{aligned} \text{注射針式電極 } \rho_N &= \frac{417.2}{870} \cdot W_N = 0.48 W_W \\ \text{洗濯挟み式電極 } \rho_W &= \frac{417.2}{720} \cdot W_W = 0.58 W_W \end{aligned} \right\} *4$$

*4 $\left\{ \begin{array}{l} \rho_N : \text{注射針式電極を用いて測定した比抵抗近似値} \\ \rho_W : \text{洗濯挟み式電極を用いて測定した比抵抗近似値} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} W_N : \text{注射針式電極を用いて測定した抵抗値} \\ W_W : \text{洗濯挟み式電極を用いて測定した抵抗値} \end{array} \right.$
 $\left\{ \begin{array}{l} 417.2 : \text{KCl}(0.02\text{N}) \text{ の比抵抗 } (18^\circ\text{C}) \\ 870 : \text{KCl}(0.02\text{N}) \text{ 中で示す注射針式電極による測定値 } (1 \text{ kc/s}) \\ 720 : \text{KCl}(0.02\text{N}) \text{ 中で示す洗濯挟み式電極による測定値 } (1 \text{ kc/s}) \end{array} \right.$

この両式中の W_N , W_W に 1kc/s についての各測定値を代入することで、先に述べた比抵抗近似値を予想することが出来る。次の第 12 表は、これまでに得た抵抗値のうち若干のものについて比抵抗近似値を求めたものである。

Table 12. Specific electric resistances estimated. (ohm)

Needle-type Electrodes	Cuticle	Measured value	Estimated value	Whole body	Measured value	Estimated value
	III _D		790	380	I _S ~ 1 _S	1,020
5 _D		330	160	I _S ~ 5 _D	870	420
9 _D		580	280	I _S ~10 _A	1,490	720
I _S ~1 _S		920	440	II _D ~ 5 _D	890	430
5 _S ~7 _S		430	210	9 _D ~ 7 _D	440	210
8 _S ~9 _V		380	180	5 _S ~ 7 _S	500	240
Forceps-type Electrodes	Cuticle	Measured value	Estimated value	Whole body	Measured value	Estimated value
	III _D	3,710	2,150	I _D ~ 1 _D	6,340	3,680
5 _D	5,600	3,250	I _D ~ 7 _D	7,970	4,620	
9 _D	6,270	3,640	I _D ~10 _A	6,890	4,000	
III _V	5,620	3,260	9 _D ~ 5 _D	6,370	3,690	
5 _V	3,570	2,070	5 _D ~ 7 _D	6,200	3,600	
9 _V	5,400	3,130	III _t	6,770	3,930	

4. 考 察

虫体内における電気的作用と殺虫機構を究明する場合、その虫体の電気抵抗を知ることはきわめて重要な意味をもっている。人体に対する感電死の研究にもまずこの抵抗測定の問題が採り上げられており、その抵抗値が、人体血液 61~84 オーム (武藤 1956)、人体の全体抵抗 1,200~30,000 オーム (寺内 1939, 武藤 1956, M. B. MUELLER 1953)、家兔の全体抵抗 800~1,200 オーム (中島 1942) などと報告されている。さて、この報告にみられるように、全体抵抗の最小値と最大値の間に大きな変動がある。これらの変動は、特に電流の出入口、すなわち電極と生体の接触面における各種条件に因る場合が多い。たとえば人体についてみると、皮膚が柔軟で薄く、しかも湿潤の時は電流がはいり易く、逆に肥厚の上乾燥の時は、電流に対する抵抗値は非常に大きいものとなる。これは虫体についても同様で、(vi)の測定結果が示すように、体皮と電極との間に電解液を挿入し、湿潤の条件下では、抵抗は 1/5~1/8 に激減する。その上、電極の接触方法とその面積、圧力などによっても大きな影響をうける。このような条件を統一し、次の実験段階である電撃処理の際の必要条件にも合致させるために洗濯挟み式および注射針式両電極を用い、これらの誤差を小さくしようと努めてほぼその目的を達成することが出来た。

体液、消化液の各抵抗測定の場合は、電解質溶液の電気抵抗測定法にしたがい、白金黒電極を用い、接触面の分極を少なくすることによつて、比較的容易にその比抵抗値を求めることが出来た。しかし、体皮抵抗、全体組織抵抗など生体の抵抗測定には種々の問題があつてその実行は甚だ困難で

ある。今回はこれを本川の生体組織のインピーダンス測定法にしたがうこととし、生体組織では一応抵抗部分と容量リアクタンスとが直列であるという考え方のもとにブリッジの平衡を求めた。すなわち、測定の際に生体組織のインピーダンスがどのようなであろうとも、このような方法で平衡させることが出来れば、少なくとも生体組織のインピーダンスは、抵抗部分と容量リアクタンスとを直列につないだ回路と等価であるとみなすのである。しかしこの場合、この方法で等価なものが見出されたとしても、生体組織ではこれらが直列であるのだと断定することは出来ない。あくまでも、交流測定においてのみ等価であると考えらるべきであろう。

分極にもとづくインピーダンスの場合には、その抵抗も容量も、純粋な物理抵抗および容量とは異つて、周波数によつて変化をうける。すでに第 7, 9, 10, 12, 13 各図に示すように、体皮抵抗、全体抵抗のいずれも周波数の増大にともなつてその抵抗値は漸時減少し、それぞれある一定値に近接の傾向を示す。このように周波数を高めた極限では、抵抗部分はそれぞれ一定値となり、この値を組織の真の抵抗 (**true resistance**) と呼ぶこともある。しかし、この減少状況や組織の真の抵抗は、使用した電極によつて著しい相異がある。これを比較するために第 7 図 (洗濯挟み式電極使用) と第 12 図 (注射針式電極使用) におけるそれぞれ最大値と最小値を示す両曲線を同一目盛り上に図示したものが第 17 図である。同図では、洗濯挟み式電極を用いると、周波数の増大にともなう抵抗値の減少が著しく大きく、逆に注射針式電極を用いるとその減少率は僅少であることを示しており、これによつて生体組織、とくに体皮の抵抗値は周波数によつて影響されることが大きく、逆に体液などはその影響されるところが少ないことなどを明らかにした。

生体組織の抵抗といつても、組織の大きさ、電極などによつて相異なるので、厳密には金属や溶液の場合と同様に比抵抗として表わすべきであろう。しかし、組織では、その大きさ、断面積

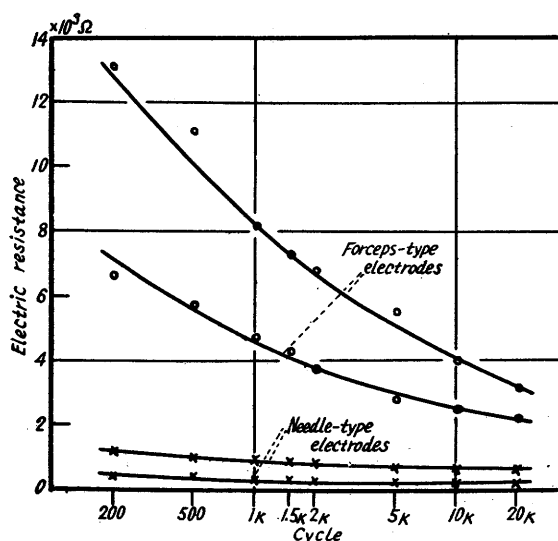


Fig. 17. Comparison between electric resistances measured by forceps-type and needle-type electrodes.

などを正確に測定することが困難であり、また実験本来の目的から考えても、これらの虫体電撃処理の際には、今回の測定に用いたと同じ電極を使用するのであるから、この程度の相対値で差支えない。しかし測定結果(vii)によつて、これらのおおよその比抵抗近似値を推定することが出来たので、各種の抵抗を比較すれば次のようになる。すなわち、虫体内部で最も低い抵抗値を示すのは、腸液およびその含有物であつて、これは 100 オームを下廻る。これについて消化液の110~130オーム、体液の 190~230オームと順に増大し、体皮はほぼ 2,000~3,600 オームという大きな値を示す。したがつて全体抵抗もこの体皮抵抗に大きく影響され、3,600~5,000 オームを示している。しかし同じ全体抵抗も、注射針式電極を用いた場合には200~700オームであり、体液などの抵抗値に近接しており、しかも電極間の距離の差異は、結果(vi)に示されるように抵抗値に影響するところは少い。これらの値はそれぞれ今後の電撃処理の場合、きわめて重要な意味をもつこととなる。すなわち、一般に虫体に加電する場合、体皮の示す大きな抵抗によつて虫体内部の通過電流量は少いが、体皮のその部分にジュール熱が発生し、あるいはスパークによつて加熱され、そのため体皮は破壊されて体液が噴出し、また消化液を吐瀉する。このため抵抗は 200~700 オームまで激減し、したがつて虫体内の通過電流量も著しく増大することとなる。

カイコ 5 令幼虫の体液抵抗 110 オーム(蚕体生理学 1936)と比較すると本種のそれはやや大きく、前述のように 190~230 オームであるが、同一令期でも次の脱皮期が近づくとつれてやや増大の傾向が認められた。また、3 令初期の幼虫と 2 令後期の幼虫のそれを比べても後者がやや大きな値を示した。これは、来るべき変態あるいは脱皮に備えて体液中の栄養分(電解質)を脂肪組織などの貯蔵物質に転換させるためであろうと考える。

なお、体皮抵抗が腹部末端部で最大、同じく中央部が最小であり、しかも一般に腹面部が背面部より抵抗大であるというのは、体皮そのものの厚さの差異にもとづくものであり、さらに注射針式電極による全体抵抗測定によつて、胸部が最大で、腹部中央部が最小であるのは、体液抵抗>消化液抵抗>腸液ならびにその内容物抵抗、の傾向に全く一致していることなどを明らかにした。

IV. 摘 要

電撃による殺虫機構を解明するに先立つて虫体の電気抵抗を知ることは重要であると考えたので、万能ブリッジを用い、交流電源によつて虫体全体、体皮、体液、消化液などの各種抵抗を測定し次のような結果を得た。なお、今後の実験には、カブトムシ幼虫を供試虫とすることになつたので、今まで明らかでなかつたカブトムシの生活史についても言及した。

(1) カブトムシ *Xylotrupes dichotomus* LINNÉ は年 1 回の発生で、5~9 月の間に産卵され、孵化した幼虫は腐敗植物を摂つて生育し、3 令期の形で越冬し翌年羽化する。その生活史の大要を図示することが出来た(第 1 図)。

(2) カブトムシ幼虫は他の甲虫幼虫に比較し巨大で、その3令幼虫は頭幅 0.90~1.20 cm, 頭長 0.55~0.82 cm, 大顎長 0.55~0.68 cm, 体幅 1.23~2.60 cm, 体長 5.24~9.35 cm であり、しかも3令期がきわめて長期にわたり、年間を通じてその入手が可能、しかも飼育が容易であるなど供試虫としての好条件を具備している。

(3) 抵抗測定の際に用いた電極は、溶液に対して白金黒電極、組織に対しては洗濯挟み式電極（ベークライト製洗濯挟みに銀板 0.6×0.6 cm はりつけ）と注射針式電極（径 0.5 mm）の三つを用いた。

(4) 体液抵抗は 190~230 オームで、同一令期のもも脱皮期が近づくとつれて増大の傾向を示すが、消化液とその混合液の両抵抗にはこの傾向は認められず、前者が 110~130 オーム、後者が 140~160 オームであり、腸液など含有物は 100 オーム以下であった。

(5) 体皮および全体抵抗などの組織抵抗測定には、インピーダンス測定法にしたがい、特に抵抗部分と容量リアクタンスは直列であるとみなした。

(6) 体皮比抵抗近似値は 2,000~3,600 オーム、全体比抵抗近似値は 3,600~4,600 オームであるが後者を注射針式電極で測定すると 200~700 オームとなつた。これらの値では、いずれも極間距離による変動は僅少であった。

(7) 体皮抵抗測定によつて、腹部中央部が最小抵抗部分であり、腹部末端部が最大抵抗部分であること。また、一般に腹面部は背面部より抵抗大であることなどが明らかとなつたが、これは体皮の厚さの差異によるものであると思われる。

(8) 体皮および全体抵抗は周波数によつて大きな変化をうける。すなわち、周波数の増大にともなつて抵抗は漸時減少し、ある一定値（組織の真の抵抗）に近接する。しかし、虫体内に刺入する注射針式電極による全体抵抗は周波数による変化は少く、これが体液、消化液などの抵抗値に影響されていることを知つた。

(9) 洗濯挟み式電極による全体抵抗は、主として体皮抵抗に支配されているようで、電極との接触部が湿潤の場合は急激な抵抗の減少を示し、体液、消化液などの抵抗値に近接する。

V. 参 考 文 献

- 1) B. MUELLER: Gerichtliche Medizin 496 (1953)
- 2) 板谷 健吾: 蚕体生理学 169 (1936)
- 3) 黒木 敏郎: 電戦漁法 15~19 (1955)
- 4) 神谷 一男: カブトムシの幼虫及び蛹に就いて, 昆虫 [5] 2, 69~73 (1931)
- 5) 北村 直躬: 神経の不应期附近に於る電気抵抗に就て, 大日本生理学会第2回例会 (1923)
- 6) 北村邦太郎: 滲出液及滲漏液の電気伝導度に就て, 東京医科歯科雑誌 [2] 6 (1928)
- 7) 武藤藤太郎: 感電の生理, 東電グラフ 39, 2~3 (1956)
- 8) 本川 弘一: 医学生物学電氣的実験法 (1955)

- 9) 中島 二郎: 直流に依る電撃死の死型に就て (I) 北海道医学雑誌第 20 年 143~65 (1942)
- 10) 柴岡 孝雄: ナタマメの初生葉の就眠運動にともなう葉枕の電気抵抗変化, 生理生態 [2] 1, 12~22 (1948)
- 11) 坂本 鳥嶺: 動物体及人体の電気抵抗の簡易測定法並に其応用, 口腔学会誌 [1] 1 (1929)
- 12) 寺内 等: 電撃死か溺波死か, 京都医学誌 [36] 8 (1939)
- 13) 山本 友香: 皮膚の導電抵抗に就て, 京都医学誌 [9] 1, 2 (1913)

Résumé

The writer had thought that to determine the electric resistance of insect body might be important as the first step to study the acting mechanism of electric shock. For the material of this research, the 3rd instar larva of *Xylotrupes dichotomus* L. was more excellent in three points, compared with the larva of *Anomara rufocuprea* Motsch. studied in the previous work. Advantages were as follows. i) It was relatively large in size in Coleoptera. ii) It was possible to get throughout the year. iii) It was easy to rear in the laboratory.

Life history and several characteristics

In spite of popularity on *Xylotrupes dichotomus* L. almost no studies on this species had been made and less importance of this species in economical point was supposed to be a cause. To obtain fundamental knowledges, the writer raised this insect in the laboratory.

(1) *Xylotrupes dichotomus* L. generally completed its one generation of four stages i.e. egg, larva, pupa and adult, in one year. The larvae hatched out from the eggs, which had been laid from the middle of April to the end of September in the vegetable manure heap, fed upon organic materials, grew up to the 3rd instar, and then rested over the winter. In the next year, from May to September the adult beetles emerged after passing the pupal stage. Fig. 1 showed the ordinary life cycle of this insect.

(2) The larvae reserved in alcoholic sol. were measured the size of head or body. With a micrometer to determine the number of moults. The result of measurement was showed in Table 1. In the 3rd instar larvae, the breadth of head was 0.90-1.20 cm, length of head was 0.55-0.82 cm, length of mandible was 0.55-0.68 cm, breadth of body was 1.23-2.63 cm and length of body was 5.24-9.35 cm.

Electric resistance

The electric resistance of whole body, cuticle, blood and digestive fluid was measured by the universal bridge using alternating current. Three kinds of electrodes were used properly. i) Platinum black for measuring the resistance of solution (Fig. 2A). ii) Forceps-type for measuring tissue to observe the surface of the body (Fig. 2B). iii) Needle-type for measuring tissue to observe the inside of the body (Fig. 2C).

(1) The electric resistance of blood ranged 190-230 ohm and its value increased with growing in the same instar. But on that of digestive and mix fluid, such tendency was not found. The resistance of the former was 110-130 ohm, in the latter was 140-160 ohm and that of enteric fluid was below 100 ohm.

(2) The electric resistance of tissue, cuticle or whole body was measured as impedance in which electric resistance and condensive reactance were regarded as series circuit.

(3) The approximate value of the electric resistance of cuticle was 2,000-3,600ohm and that of whole body was 3,600-4,600 ohm, but in the latter, when the needle-type electrodes were used, the value was only 200-700 ohm. These values were not affected by difference in distance between the electrodes.

(4) From the results measured on cuticle, it became clear that the minimum of the resistance was in the region of middle abdomen and the maximum in the region of posterior abdomen. The resistance in the ventral region was generally larger than in the dorsal region which supposedly was the effect of cuticular thickness.

(5) The electric resistance of cuticle or whole body was subject to the cycle of electric current. With the increase of cycle the value of resistance decreased, approaching a certain value that was supposed as the true resistant value of tissue. But in the use of needle-type electrodes, the resistance of whole body was not so affected by the cycle. Here, the resistance of whole body depended mainly upon that of blood or digestive fluid.

(6) The electric resistance of whole body measured by forceps-type electrodes was supposed to be subjected to the electric resistance of cuticle. When the contact parts of electrodes with the body was wet, electric resistance decreased rapidly and the value of it approached that of blood or digestive fluid.