

Considerations on the Heat Resistance of the Bean Weevil Reared under Various Conditions of Environment. MASAO KIYOKU (Biological Institute, Kyoto Gakugei University) Received Nov. 13, 1953. *Botyu-Kagaku* 18, 193, 1953 (with English résumé, 200)

30. 種々の異つた条件の下で飼育したアズキゾウムシ成虫の熱抵抗に関する考察

清久正夫 (京都学芸大学生物学研究室) 28. 11. 13 受理

棲息密度や食物中の水分飼料の質の異つた条件で蛹まで飼成虫の熱抵抗の相違と成虫の8つの形質との関係を検討しこれらの形質が熱抵抗に関係する度合を調べた。それらの変化の方向は飼育条件によつて1定でないから熱抵抗の要因は1定のものでないと言ふことに関して論議を行つた。

緒言

飼育条件の異つた昆虫の致死原因に対する抵抗が異なるであろうと言ふことは想像される。実際、斯様な問題に関する若干の実験がこれ迄に行われて居る。例えば飼育中の棲息密度に依つて薬剤に対する抵抗が異なることが報ぜられた(例えば長沢⁽¹⁾、石倉・尾崎⁽²⁾)。或は又その昆虫の食物の水分や脂肪の量によつて異なる事等も知られて居る(例えば斎藤⁽³⁾ Reiser et al. ⁽⁴⁾)。

同一種の昆虫を種々の条件にて飼ひ、若しそれら相互間に抵抗の差が認められれば、これと昆虫の種々の形質との関係を比較研究すれば異種昆虫を用ゐるよりは比較的容易に熱に強いものは如何なる形質を持つかわかり、ひいては熱抵抗の機構を解明する上に何等かの手掛りを与えることになるのではないか。然しこれは我々が考える程左様にたやすい業ではない。何となれば抵抗に関係する形質をさがし出すことがそれ程容易でないのみならず、飼育の状態のことなることで抵抗に関係する要因も異なるかも知れないからである。又一方同一種内の然も同一発育時期のもの間の相違は特別の場合を除いてはごく僅かであらうと想像されるから斯様なものに差のあることを断定する為には適当な所謂実験計画が必要になつて来る。斯様な観点に立てば従来の研究にはガツチリした data を持つものもないではないがその結論がはっきりしたとは思えない。適当と思われる研究は比較的少ない様に思う。

著者の研究は上に述べた様な目的の方向へ進められた。既に前報⁽¹⁾に於て飼育温度をかけた実験を報じた。それに従えばより高い温度で飼育したものの程熱抵抗が強くなり、その抵抗と関係深い数種の昆虫の形質を「相関法」によつて指摘した。しかしそれだけで其処に上げた形質が一般に昆虫の熱抵抗を強くする要因と結論することは尙早計である。その中には当る場合もあるが例外のあることは勿論である。これはこの方面の第一段階の実験であるにすぎない。

若し実験操作に於て他の形質を一定に出来、一つだけを変化させて、その変化と熱抵抗の変化とを比較させることが出来たら、この問題は比較的早く解決するだらう。しかしそう言う実験は殆ど不可能に近い。昆虫の一つの形質がかわれば他の形質もこれに応じて変化する場合が多い。

次の研究段階では前の様に異つた温度条件ではなく、其の他の飼育条件の異つた下で得た昆虫について実験を行い、前の場合と相似の結果となるなら、例えば熱抵抗が強いものは何時も脂肪の含量が多く、その融点が高い等と言ふことになれば、これが熱抵抗に関係する要因としての一般的価値が更に一層明瞭にならう。若しそうならねば熱抵抗の条件は単に一定なものでなく、その昆虫の発育の歴史の相違で変化すると言ふ結論を導く資料が実験的に得られるであらう。勿論この研究を最も客観的に進めるには実験計画法の適用が必要になるが、かなり大きい労力で一人では今出来かねるからその便法として所謂 probit-method と称する統計学的方法と単一の変量分析法を利用して研究を進めた。

本報文は斯様な段階にある業績の一である。しかし飼育の技術、実験方法或は実験材料の選定にデリケートな問題を含んで居る。この実験成績のみから未だ充分の結論は導きにくいととりあえず現今までの所をまとめた。勿論第3段階の研究は目下続行中であり報告は次の機会にゆづる。

本文を草するに当り終始御指導を賜つた京大農学部内田俊郎教授に厚く感謝の意を表する。

材料及び方法

実験材料として使用した昆虫は *Callosobruchus chinensis* であり、この報文には主として雄の実験成績を取扱つて居る。

I. 飼育条件の相違。4組の異つた飼育条件で卵から蛹まで飼育して得た成虫の羽化24時間以内のものが実験に用いられた。その4組の飼育条件と言ふのは次

の通りである。

a. 棲息密度。密度の高いものと低いものゝ組から成る。「高密度」と言うのは親の数が200匹以上で1豆に10~15粒産卵させた程度のも、又「低密度」と言うのは親の数が60匹程度で1豆に3~5粒産卵させた程度のものである。この場合の温度は両方共 30°C ., 75% R. H., 豆の含有水分は14%程度であつた。

b. 食物の含有水分及び大気湿度。この場合は「多湿」と「低湿」との2組から成る。この場合の棲息密度は、親の数80内外、1豆5粒内外産卵の程度でその飼育温度は 30°C . である。「多湿」と言うのはあらかじめ水分を調節してある豆に水を散布し、 30°C . 内で表面を乾かしそれを KNO_3 の飽和液(普通 30°C . で 95% R. H. を保つ)で空気中の湿度を調節したもので、21日後の水分測定では豆の含有水分は19.2%であつた。これに対して、「低湿」と言うのは前記の豆を5~6日間、 35°C . -55%程度の中に置き爾後は NaBr の飽和液(これは 30°C . で55% R. H. を保つ)で湿度を調節したものでこのときの豆の含有水分は13.5%となつて居た。勿論この条件は著者が普通に使つて居る豆の水分よりは少し乾燥して居ると言う程度で寧ろ「低湿」とは言えないかも知れない。

c. 食物の質。昆虫の食物として「大豆」及び「豌豆」を用いた。この場合に何れも昆虫の生育は悪かつた。之に対する対照区として通常の「小豆」飼育のものを用いた。これらの豆の水分は14%程度、昆虫の密度は1豆当り5~7粒程度であつた。以下本文中の表の中には斯様な実験区を夫々 'high density', 'low density', 'wet condition', 'dry condition' 'soy bean' 'pea' 及び 'azuki-bean' と記してある。

II. 熱抵抗の実験。実験方法は著者のこの方面の研究^(7,8)の場合と全く同一の器具を使用しその方法も同一であるから細部は省略するが、用いた温湿度は 46°C . 73% R. H. 一種のみであつた。この実験から時間と死亡率を検するのであるが本回の実験では飼育条件の異つた昆虫群の抵抗の差が左程大きくない場合が多いのでそれぞれの所定の曝露時間の死亡率を出すために何回も同じ実験を繰返し(大体同一のものを7~8回)万全を期した。尚この比較をよくする為の上に記した異なつた材料の組毎に同時に実験を行つて居る。

III. 昆虫の諸形質。こゝで問題にされた昆虫の形質は前報⁽⁹⁾と同じく8つの形質であつて、それは発育中の死亡率、標準条件の下での成虫の寿命、成虫の含有水分、一定時間後の水分喪失率、乾気 (30°C . 24% R. H.) 中の成虫の生存期間、成虫の含有脂肪、及び其の融点、成虫の体重である。それらの測定規程及び方法は前報と全く同様であるから省略する。

実験成績

I. 抵抗の比較。

上に記した様にして飼育した昆虫群相互の間にどれだけの熱抵抗の相違があるかは著者としても初めからはわからなかつた。故にその相互比較を便にする為に正確に数量的比較の方法を用いねばならぬ。この目的の為に probit-method を利用することが便利である。その為には抵抗の変異が正規分布の法則に従うと言ふことが必要である。然しものによつてはこの法則にあわない。故に階級軸の適当な位相転換を行い正規型として処理する。この軸に薬量を用いる場合には log 転換することが多い、対数正規型と言う語があるくらいである。然し薬量の場合でも斯様な位相の転換に log scale を用うると言うことが公理ではない。今この問題について D. J. Finney の言葉を借用しよう。彼は言う………。There are additional advantages in having a scale on which a given proportionate increase in concentration has the same scale value at all levels of concentration, but other forms of transformation may sometimes be more suitable………。It is convenient to take x as representing the intensity of the stimulus on the scale on which the tolerances are normally distributed, and λ as the untransformed value of concentration, time of exposure, or other variate. Thus for much insecticidal work, if λ is the concentration of the toxic agent, $x = \log_{10} \lambda$, and for some fungicides a better transformation may be $x = \lambda^i$, where usually $i \leq 1$. The second normalizing transformation tends to the logarithmic as i is decreased to zero. There is no reason why a simple transformation should always be available. と。彼の言う $x = \lambda^i$ の型は Parker-Rhodes (1941~1943) の6個1連の研究で見付けられたものであり、又これとは全く独立に著者 (1951~1953) の実験で曝露時間に於て考案されたものである。Parker-Rhodes の学説 (Theory of variability.) は今こゝで述べる必要はない。然し何故に $x = \lambda^i$ の型を取るかと言うことは Parker-Rhodes には一応の見解があり、又著者の場合にも一応の見解の上に立つて居る。然しこの実験は著者の経験により 46°C ., 73% R. H. の下では前記 λ^i の i , 著者では λ^k の k の値が1を取る範囲の実験であるから見掛けの上では Probit-Time Regression Equation の取扱いと同様となる。次に相互の比較やその差の程度を表す方法に就ては Bliss⁽⁹⁾ 或は Finney⁽⁹⁾ に依つて示されたから此処に於ても其等の方法を適当に取捨して次の様な方法を

用いた、先ず Probit-Time Regression Equation の回帰係数 b がよく似た値を取るの、この Regression line が平行であるかどうかを χ^2 の分析で検し、平行と認められれば共通の b の値を取る回帰式に書きなおすと次の処理が非常に容易になる。斯様な新しい回帰式を用いて差の検定を行い、其の程度を 'Mean Probit Difference' で示した。其の結果を表として示せば第1表乃至第3表の通りにまとめられる。

Table 1. Comparison of the data obtained from the experiments at the different population densities

probit- x^k scale time regression equation ($k=1$)	
high density	low density
$Y_1=5.530+0.011413$ ($X_1-149.911$) $=3.826+0.011413X_1$ $\chi^2_{(1)}=3.914$	$Y_2=5.204+0.010326$ ($X_2-157.661$) $=3.576+0.010326X_2$ $\chi^2_{(1)}=2.455$
(New equation)	
$Y_1=3.913+0.010825 X_1 : Y_2=3.498+0.010825 X_2$ M. L. $T_1=100.415$, $S_{1,2}=92.378$, M. L. $T_2=138.752$	

Analysis of χ^2 for test of parallelism of regression line

	Degrees of freedom	Sum of squares	Mean square
Parallelism of regression	1	1.378	1.378
Residual heterogeneity	3	6.369	2.123
Total	4	7.747	

χ^2 -test for discrepancy between two lines

$\chi^2_a=18.662$, $\chi^2_b=0.456$ $\chi^2_a + \chi^2_b = 19.118 > 5.99$ (at 5%)
Mean probit difference
$A_{12}=0.416 \pm 0.096$, $V(A_{1,2})=0.009273$

Y , Probit X , time
M. L. T., median lethal time
 S , standard deviation
 A , mean probit difference
 V , variance.

The following procedures are employed in order to make this table. (a) From each experimental data on the relationship between exposure time and mortality, two probit-time regression equations can be estimated by an

arithmetic procedure (maximum likelihood solution). (b) A test of parallelism of these regression lines is given by comparing the sum of the χ^2 -values for two series of the data. (c) When they are parallel, new regression equations in which the coefficient b is taken by a common value are estimated. (d) From these new equations, 'mean probit difference' is calculated for the comparison of two data. (e) Significant difference between two regression lines is tested by ' χ^2 -test' method.

第1表を見ると2つの回帰線は互に平行であり、その間に有意の差がある。この差の程度は何れの死亡率の水準に於ても 0.416 ± 0.096 だけ「低密度」の虫が強いと言うことが断定出来る。これに対して両者の抵抗性の変異には殆ど差を認めることが出来ない。

Table 2. Comparison of the data obtained from the experiments with different conditions of moisture

Probit- x^k scale time regression equation ($k=1$)	
dry condition	wet condition
$Y_1=4.982$ $+0.015913(X_1-132.797)$ $=2.869+0.015913 X_1$ $\chi^2_{(1)}=0.442$ M. L. $T_1=133.903$, $S_1=62.893$	$Y_2=5.413$ $+0.009189(X_2-125.664)$ $=4.258+0.009189 X_2$ $\chi^2_{(1)}=0.651$ M. L. $T_2=80.748$, $S_2=111.000$

Analysis of χ^2 for test of parallelism of regression line

	Degrees of freedom	Sum of squares	Mean square
Parallelism of regressions	1	8.397	8.397
Residual heterogeneity	1	1.093	1.093
Total	2	9.490	

第2表中の 'Analysis of χ^2 ' より8.397 (D. F. = 1) は有意である。故にこれらの回帰線が平行であると言う証拠がないことになる。この場合には平行でないから両者の比較はより複雑である。ある一定の死亡率の水準に於て2つの熱に耐える比較時間が測定される。しかしその測定値は異つた死亡率の水準では異つて来る。斯様な data を簡単に比較する方法は知らない。そこである死亡率の水準 (50%死亡率) に於て両者の比較を行い、又それぞれの回帰式より得られた

b 又は s の比較を別々に行つた。約言すれば M. L. T. の比と s の比を以て其の差の程度を示した。其の結果は前者に於て「低湿」対「多湿」は 1.65 : 1, 後者では 1 : 1.76 であつた。故に大ざつぱに「低湿」の虫は「多湿」のものの M. L. T. に於て 1.65 倍強い。

Table 3. Comparison of the data obtained from the experiments at different nutritional states

	Probit χ^2 scale time regression equation ($k=1$)
"Soy bean"	$Y_1=5.0026+0.018046(X_1-137.292)$ $=2.5251+0.018046X_1$ $\chi^2_{(3)}=13.716$
"Pea"	$Y_2=5.225+0.017592(X_2-133.082)$ $=2.8814+0.017592X_2$ $\chi^2_{(3)}=17.118$
"Azukibean"	$Y_3=5.0402+0.019902(X_3-145.768)$ $=2.1392+0.019902X_3$ $\chi^2_{(3)}=38.914$
New equation	
"Soy bean"	$Y_1=2.4207+0.018806 X_1$ M. L. $T_1=137.153$
"Pea"	$Y_2=2.7193+0.018806 X_2$ S_{1-2-3} M. L. $T_2=121.275$ 53.174
"Azukibean"	$Y_3=2.2980+0.018806 X_3$ M. L. $T_3=143.629$

Analysis of χ^2 for test of parallelism of regression line

	Degrees of freedom	Sum of squares	Mean square
Parallelism of regression	2	7.998	3.999
Residual heterogeneity	5	63.901	12.780
Total	7	71.899	

χ^2 -test for ediscrepancy between two lines

between soy bean and azuki bean	$\chi^2_a=5.216, \chi^2_b=1.501$ $\chi^2_a+\chi^2_b=6.717>5.99$ (at 5%)
between pea and azuki bean	$\chi^2_a=39.501, \chi^2_b=1.432$ $\chi^2_a+\chi^2_b=40.933>5.99$ (at 5%)
between soy bean and pea	$\chi^2_a=20.027, \chi^2_b=0.0526$ $\chi^2_a+\chi^2_b=20.0796>5.99$ (at 5%)

Mean Probit Difference

between soy bean and azuki bean	$d_{1-3}=0.1217\pm0.053$ $V(41.3)=0.002830$
between pea and azuki bean	$d_{2-3}=0.4208\pm0.066$ $V(42.3)=0.004476$
between soy bean and pea	$d_{1-2}=0.2991\pm0.065$ $V(41.2)=0.004467$

い。そして抵抗の変異は「多湿」の虫の方が 1.76 倍大きいと結論される。

第 3 表 χ^2 の表より明かな通り 3 者は互に平行直線と見なされる。故に b が共通の値 0.018806 を持つ同帰式に書き改めることが出来、且つそれらの 3 同帰線は別々のものと見なせる。そこでこの表から次の結論が導ける。昆虫の熱抵抗は「小豆」が 1 番強く「大豆」がそれに次ぎ「豌豆」が最も弱い。そしてその程度は「小豆」と「大豆」では 0.1217 ± 0.053 , 「小豆」と「豌豆」では 0.4208 ± 0.066 , 「大豆」と「豌豆」では 0.2991 ± 0.065 である。

この章で取扱つた実験成績から我々は次の記載をすることが出来る。昆虫の飼育密度を大にして得た虫は密度の小さいものより、又發育中の食物の水分含量を多くして得たものはその少のものより夫々熱抵抗が弱くなつて居り、又大豆豌豆等の如く異質飼料で飼つた虫は正常の食物のものより僅かではあるが熱に弱いと言ふことが明かである。しかしその相違の程度は飼育温度をかえた場合(前報)⁶⁾に比して左程大きいものではない。尚抵抗の変異は「乾湿」の実験以外は飼育の条件で変るとは見えない。

II. 昆虫諸形質の調査。

この実験で計画した飼育条件の相違による昆虫の熱抵抗の差はあるものと認めることに成功した。この様な昆虫の諸形質の状態がどの様に変化するか、そしてそれらと熱抵抗の変化とがどの様な関係を持つかを知ることが次の問題である。今、「疎・密」「乾・湿」「異質飼料」の実験区毎に前にのべた 8 つの形質を調査しその相違を検定した結果は以下第 4 乃至第 6 表にまとめられて居る。

第 4 表の結果を見ると、熱抵抗の強い方は弱いものに比して体重がおもく、粗脂肪の含量が多く、その融点が高く、乾気中の成虫の寿命が長く一定時間内の水分喪失率が少い。これまでに上げた性質は前報の場合に似て居る。これに対して含有水分量は其の差が明でない。又強い方が發育中の死亡率が小さく正常の条件に於ける寿命が其の相違は明に断定出来かねるが長い傾向が見える。この結果は前報とは逆の関係になつて居る。

第 5 表の結果は、第 4 表の結果とは趣が異つて居る。体重・乾気中の寿命は前と同じ様に抵抗の強い方が大であるが水分喪失率及び粗脂肪の含量では両者の間の差が明でなく、水分含量は弱い方がかえつて少ない。これは前とは逆の関係である。正常の条件下の寿命は長く、發育中の死亡率は少ないことは前と似て居る。この実験で粗脂肪の融点は測定出来なかつたのでこの比較は出来ない。

第 6 表をを檢すると、先ず「小豆」と「大豆」との

比較では抵抗の強い方は体重が重く、粗脂肪の融点が高いがその含量は少なく、乾気中の寿命は長いが含ま水分及び水分喪失率の相違は認めがたい。又死亡率の少ないことは上の場合に似て居るが正常下の寿命は逆に幾分短い傾向が見える。次に「小豆」と「豌豆」の比較では抵抗の強い方が体重が重く、粗脂肪の量が多いがその融点は低く、乾気中の寿命は長いが含ま水分及び水分喪失率の相違は認めがたい。正常下の寿命及び死亡率は前例の様に抵抗の強い方のものは前者が長

く後者は小である。

大ざっぱな見当では特に第5表及び第6表の結果より熱抵抗の要因は昆虫体内の水分や脂肪等であると言うより寧ろ昆虫の発育中の条件の良いと言うことがそれである様に思われる。これに関しては次章で論議する。

考 察

先づ昆虫の諸形質の相違に就いて全体に涉つて比較すべき資料がないが部分的な比較では密度に関して長

Table 4. Differences in some physiological characters of the insect reared at different densities of population

	Average body weight (mg.)	Water content (%)	Rate of water loss (%)	Longevity in day (day)	Crude fat (%)	Melting point (°C)	Longevity (day)	Death rate ingrowth period (%)
low density	3.88	60.67	5.76	M. L. T.	22.43	23.8	M. L. T.	26.0
	3.97	61.11	7.32	4.228	33.32	24.5	6.694	18.0
	3.92	61.11	5.14	S		22.5	S	
	3.78	57.62	8.04	0.787			2.777	
	3.83	62.20	3.08	C. V.			C. V.	
				18.16			41.48	
Mean	3.816	60.54	5.868		27.87	23.6		22.0
F-test	+	-	+	+	+	+	?	+
Mean	3.36	60.58	8.813		24.50	21.5		58.3
high density	3.38	59.76	9.60	M. L. T.	20.18	21.5	M. L. T.	64.5
	3.34	60.77	10.30	2.691	28.83	22.0	6.546	52.1
	3.26	60.42	8.84	S		21.0	S	
	3.42	61.98	7.18	0.726			2.398	
	3.40	60.00	8.25	C. V.			C. V.	
				26.97			36.48	

Table 5. Differences in some physiological characters of the insect reared under the different atmospheric moisture content and the different water content of food

	Average body weight	Water content	Rate of water loss	Longevity in day	Crude fat	Melting point	Longevity	Death rate during growth period
dry condition	3.80	61.05	9.80	M. L. T.	30.63	—	M. L. T.	34.2
	3.81	57.48	6.25	3.506	25.52		4.702	36.6
	3.88	62.88	6.68	S			S	
	3.98	60.80		1.108			2.659	
	4.00	62.25		C. V.			C. V.	
				31.60			56.55	
Mean	3.89	60.89	7.58		28.07			35.40
F-test	+	+	-	+	-	-	+	+
Mean	3.66	56.32	6.56		28.16			74.85
wet condition	3.71	56.06	6.88	M. L. T.	30.74	—	M. L. T.	71.0
	3.63	57.57	6.08	2.027	25.59		1.482	78.7
	3.76	56.38	6.72	S			S	
	3.50	55.71		0.926			1.785	
	3.72	55.91		C. V.			C. V.	
				45.68			120.44	

Table 6. Differences in characters of the insect reared by the different food material

	Average body weight	Water content	Rate of water loss	Longevity in dry	Crude fat	Melting point	Longevity	Death rate during growth period
Soy bean	3.09	61.16	8.31	M. L. T.	35.88	21.5	M. L. T.	73.8
	3.32	60.24	8.97	3.333	30.63	21.0	6.593	74.3
	3.38	61.74	7.18	S		22.5	S	
	3.06	61.24	11.41	1.333		23.0	2.491	
	3.68	61.11	11.81	C. V.		23.5	C. V.	
	3.43	67.66		39.93			37.78	
Mean	3.32	63.11	9.53		33.25	22.30		74.05
F-test	+	-	-	+	+	+	+	+
Mean	3.75	61.19	8.03		24.49	24.50		27.50
Azuki bean	3.61	58.10	8.46	M. L. T.	23.31	23.0	M. L. T.	27.5
	3.76	59.83	6.81	3.785	25.67	25.5	5.182	
	3.64	61.96	6.15	S		23.5	S	
	3.78	62.63	9.47	1.021		26.0	2.433	
	3.98	62.31	9.27	C. V.			C. V.	
		62.34		26.97			46.95	
F-test	+	-	-	+	+	+	+	+
Mean	3.34	63.50	7.09		21.68	27.5		80.80
Pea	3.56	64.88	7.71	M. L. T.	23.88	24.5	M. L. T.	77.7
	3.32	64.75	8.19	2.029	19.51	28.0	4.842	83.9
	3.33	64.26	6.62	S		30.0	S	
	3.24	63.58	6.93	1.127		27.5	1.968	
	3.28	60.06	6.04	C. V.			C. V.	
				55.54			40.64	

沢⁽⁹⁾、石倉・尾崎⁽⁶⁾の研究と概ね一致する様に思われる。水分に関しては木下・石倉⁽⁸⁾とは一致しない面もあるが本実験に於ける「低湿」は前に述べた様に乾燥の程度が高いものではないから比較にはならない。次に食物の質の違う場合は齋藤⁽¹²⁾の結果とも大部異つて居る様に見えるが昆虫の種類も食物の種類も共に違うのだから相互の比較が出来ない。

昆虫の抵抗性の変化に関しては石倉・尾崎⁽⁶⁾、齋藤⁽¹²⁾、R. Reiser et al.⁽¹⁰⁾等の対薬剤の研究があるが薬の殺虫機構と熱のそれとは一概に論ぜられない為にこれ又比較考察出来がたい。

この実験に於て4種の異なる飼育条件の下で得た成虫の熱抵抗の変化の様子とその成虫の諸形質の変化の様子を検するとこれらが常に同一の方向を示して居ないと言うことがすぐわかる。概ね同一の方向の変化を示すらしいと思える形質は乾気中の寿命、発育中の死亡率、正常条件下の寿命及び体重の4であるが其の他の多くのものは実験毎にまちまちである。

今この関係をもつと一般的に検討する為に本実験成

績を全部一くくりにして飼育条件の違う昆虫の熱抵抗及び8つの形質の相互比較を2つと2つの飼育条件に就いて行えば全部で21組の比較が出来る。この場合ある形質が熱抵抗に関係して居ると考えられる期待率(例えば抵抗の強いものは粗脂肪の含量が多いと言う例は期待の中に入れるそしてこんな例が前記の21組の比較の中に何回出るかを数えその回数と21との百分比を求めたものを期待率として居る。尚この関係が逆のものは反期待率、この比較がどうだかわからぬものは不明率として居る)を示すと8つの形質について第7表に示される様な結果が出る。

第7表の結果から明な様に上に述べた4つの形質の期待率は何れも50%より高く示されて居るが其の他の形質特に水分含量や水分喪失率は殆ど問題にならない。

これらの内の乾気中の寿命は前報⁽⁶⁾の場合とも一致するから熱に耐える力と乾燥に耐える力とは密接な関係があるものと考えられる事が一層確かめられた。そこでこれは熱の殺虫機構を乾燥と結びつけて考える説(例えば Mellanby や Ludwig)を支持するものと

Table 7. Expected percentage of the characters of insects for correlating with the heat-resistance

Water content	Rate of water loss	Longevity in dry	Crude fat	Melting point	Body weight	Longevity	Death rate during growth period
23.8	19.1	71.4	42.9	40.0	51.0	66.6	71.4

なる。

次に他の3つの形質はこの実験群では同一の方向の変化を示すが飼育温度をかえた前報の実験成績とは全く逆の関係になる。こゝでは死亡率が少く寿命が長く体重が重いことが熱抵抗の強いことに相関がある。故に发育中の条件が良くて多くの個体がよく发育出来、体がよく充実して体重が重く、その寿命が長く生きられるものが熱の抵抗も強いと言う風に考えられそうである。これに対して飼育温度をかえた前報の実験成績では僅かに发育の完了が許されたもの、然も体が小さく寿命も短いものが熱に強いと言うばかりでなくその程が本実験の場合より大きいものがあつた。斯様な成虫が熱に強い為には熱に対して何か特別な適応力がついて居なければならぬと考えられるが斯様な成虫の粗脂肪の量、その融点、水分喪失率等に明瞭な相関が認められた。此処に於てそれらの形質は実は一般的な熱抵抗の要因ではなく寧ろ发育中に高温によつて熱抵抗力を得たもの、即ち熱の要因と言う様に思われるから、これらの形質の本回の実験内の変化の様子をもつと細かく検討して見よう。

先ず「疎密」の実験に於ては水分関係、粗脂肪関係の諸形質の変化が前報の場合とやゝ似て居る。そこでこの実験では熱に強いことと此等とが関係がありそうに見える。然し寿命や死亡率や体重等も共に関係して居るらしいので前者の諸形質と後者の諸形質とがどの様な関係を持つて居るかを決定することはこの「疎密」の実験からでは望めない。

次に「乾湿」の実験を見ると熱抵抗の強い方の形質は前とは逆に水分含量が多いこと。水分喪失率や粗脂肪の含量はその相関が明でないからこゝではこの種の形質と熱抵抗とは関係がないもの、様に見える。次の実験異質飼料では水分含量、水分喪失率に有意の差が見られないのみか、粗脂肪については「大豆」との比較では熱抵抗の強い方がその融点が高いがその含量が少、「豌豆」との比較ではその含量は多いが融点が高いと言う結果であつて、その間の関係に明瞭な結論が下せない。

要するにある发育条件の下で得られた昆虫には熱抵抗の要因と見做された形質がそれとは違つた发育条件のもとで得られた昆虫の抵抗の要因となるとは限らないと言う事実が明にされた。此処で熱傷害及び熱抵抗

に関して与えられた学説の歴史の変遷を参照し度い。比較的早くから前者には原形質の凝固、重要な酵素の破壊、酸素の不足、リポイドの遊離等に関する学説があり、後者では含有水分の多少、結合水の有無、リポイド又は細胞質脂肪の量及び性質、含有カルシウム等の多少等に関するものがあつて、それらに夫々若干づゝの支持者があつた。然しどの説にも例外があらわれて従つてどれも適当な説とは言えない様になつた。その次にはこれらの説を2つぐらい一緒にして説明しようとする傾向が示された。それは生物に対する熱作用が複雑であると言う理由から一つの説或は一つの要因で説明出来ないと考へは既に Belehradek⁽⁴⁾や Heilbrunn⁽⁵⁾ に表れて居る。中でも Belehradek はこれに関して言う。With the advancing study of heat injury it becomes more obvious that the effects of high temperatures upon living systems are so complex that no theory could venture to reduce them all to a uniform basis. と。その論拠としてウエの卵の凝固の様子が温度の種類で異なることや温度死滅時間曲線が2つ又は3つの直線で示されることをあげて居る。又比較的最近の研究動向を K. D. Roeder⁽¹¹⁾ よりうかがうと比較的有力な学説と見られて居たリポイド説の例外(例えば Franckel and Hoff 1940. の研究)や2つの要因を同時に取り上げた説が見られる。例えば熱致死に於て酸素が制限因子となりこの制限を温度が支配すると言う Fry (1947) の説や、リポイドと酵素の複合説(例えば Jefferson 1945 の説)等である。これらの学説は生物の特定の条件の下の実験より得た事実によつて居る。その実験事実そのものは間違ひはないだらうがこれらの学説を「生きた昆虫」の熱死や熱抵抗の説明に持つて来ても良いと言う証拠は何処にも見当らない。此処に於て斯様な説に足りないものゝあることを指摘せねばならぬ。それはこれらの研究の中にその生物がこれまでにどの様な条件下で发育したものかとか、熱処理後の関係に就いて考慮を払つたものが少ない様に思われる。著者の飼育温度の違う昆虫の熱抵抗の要因は粗脂肪の関係でも説明がつきそうに見えたが飼育温度が同じで栄養条件の違つた昆虫では之では説明されそうにないと言う一事実でも熱抵抗或は熱死を論ずるとき上記の事実を考慮しなければならぬと言うことに関して実験資料

を与えることになるだろう。

又今回の実験では発育中の昆虫の栄養条件が良好でよく発育し栄養的に充実したものが熱にも強いことが推論されたがこれから熱死或は熱抵抗の機構に関して別の見解を与えることになる。と言うのは従来生物の熱に強いが弱いかと言うことに関して熱に対する虫の「保護作用」の方面（例えば脂肪の問題や水分発散等の様な熱作用を調節する方面のもの）に重点が置かれて居る様に思うが、ここでは熱によつて傷害を受けてもその程度の重いものは別だがその「回復能力」の方面（例えば寿命とか体重等の様な生活力の一指標となりそうなもの）が相当重要な耐熱性の要因となつてゐると思われることである。然しこの問題に関しては今は充分論議されない。

摘 要

この報文は前報の次の研究段階のものである。要するに充分の結論は得なかつたが、あえて指摘したい事項は(1)昆虫の熱死又は熱抵抗の要因は常に一定のものではなく、昆虫がそれまでに経た発育条件の如何で変化すること。(2)従来論ぜられた学説—例えばポイド学説は温度馴化したもの、熱抵抗の要因の説明には便利だが一般的の説明には充分とは言えない場合が往々あること。(3)熱傷害より「回復力」に関する方面が、比較的重要な要因として認められるのではないかと言うことである。

引用文献

- (1) Belchradek J. : Temperature and Living Matter, Berlin, 207, 219 (1935)
- (2) Bliss C. I. : Ann. Appl. Biol. 22, 315 (1935)
- (3) Finney D. J. : Probit Analysis, Cambridge, 10, 65, 172 (1953)
- (4) Heilbrunn L. V. : An Outline of General Physiology, Philadelphia, 424 (1943)
- (5) 石倉秀次・尾崎幸三郎 : 防虫科学 18, 85 (1953)
- (6) 木下周太・石倉秀次 : 応用動物学雑誌 12, 124 (1940)
- (7) 清久正夫 : 防虫科学 16, 122 (1951)
- (8) Kiyoku M. : Bull. Kyoto Gakugei Univ. 3, 9 (1953)
- (9) 長沢純夫 : 京大昆虫学研究室編個体群生態学の研究 1, 136 (1952)

(10) Reiser R. et al. : J. Econ. Ent. 46, 337 (1953)

(11) Roeder K. D. : Insect Physiology, New York and London 117 (1953)

(12) 斎藤哲夫 : 防虫科学 15, 54 (1950)

Résumé

Some correlations between heat-resistance and physiological character of insects have examined using the azuki bean weevil reared their pre-imaginal life under different conditions of environment, such as population density, water content of food and kinds of food. From these experiments, it can be summarised that the correlations between the characters belonging to first group (water content, rate of water loss from insect body, duration of adult life in dry air, crude fat content and its melting point) and the median lethal times as a measure of the heat resistance are not always high but vary with the rearing conditions, whereas the characters of second group (death rate during growth period, longevity of adult under normal condition and body weight of insect) have always positive correlation with the median lethal time in each experiment. Since these results differ much from author's previous experiment (1953), it can be pointed out that the factor concerning the heat-resistance of insects is not always fixed but varies by the rearing conditions.

Discussing on the relationships between them under several rearing conditions, some conclusions can be drawn as follow: It is assumed that the heat-resistance can not be explained by the hypothesis concerning a simple factor in determination of death by heat. That is, the characters belonging to the first group become the factors of heat-resistance for the insects which they developed under different conditions of temperature, whereas these characters can not be considered as the important factors for the insects reared under different conditions of nutrition. I have discussed this point minutely in this study, and enlarged this idea on the heat resistance of insects in general. Besides, since the characters of the second group are considered as the factors in this time, I suggest that the recovery force of the insects from heat-injury may be interpreted as an important factor in heat-resistance.

昭和 28 年 11 月 30 日 印刷

防虫科学 第18巻—IV 定價 130.00

昭和 28 年 11 月 30 日 発行

主 幹 武 居 三 吉
京都市左京區北白川 京都大學農学部

編集者 内 田 俊 郎
京都市左京區北白川 京都大學農学部

發行所 財団法人 防虫科學研究所
京都市左京區吉田町 京都大徳内
(振替口座 京都 5899)

印刷者 石 井 喜 太 郎
印刷所 大 宝 印 刷 株 式 会 社
京都市下京區東九條山王町三八