

mosquito larva for pyrethroid and pip. but. emulsions, and on inhibitory action of pip. but. for detoxification of pyrethroid emulsions by housefly (*Musca domestica* L.) enzyme, and obtained the following results:

The ground-tissue solution of mosquito larva exhibits detoxification in a very low degree for pyrethrins and allethrin emulsions, and reduces the activity of pip. but. emulsion. Pyrethrum emulsion is observed to be detoxified by 15.6% after 24 hrs. by the ground-tissue solution of

housefly (tested with mosquito larva) and by 55% of enzymatic detoxification of pyrethrins inhibited by pip. but.; allethrin emulsion being detoxified by 4.5% by the same, and the inhibition of pip. but. for the detoxification not recognized.

Hence the difference in degree of synergism of pip. but. for pyrethrins and allethrin seems not to be correlated with that of inhibition caused by pip. but. for the enzymatic detoxification of pyrethroid.

Effect of Preconditioned Environmental Factors to Heat Resistance of Insect.
Masao KIRYOKU (Laboratory of Applied Entomology, Hiroshima Junior College of Agriculture) Received April 30, 1954. *Botyu-Kagaku* 19, 69, 1954 (with English résumé, 73)

11. 条件づけ環境要素が昆虫の耐熱性に及ぼす影響。清久正夫 (広島農業短期大学 応用昆虫学研究室) 29. 4. 30. 受理

昆虫の熱に対する抵抗機構を検する目的の一として、一般的な昆虫体の内部要因や実験中に生ずる外部要因に関するものとは別に、比較的短時間の環境の変化が昆虫の生理的变化をおこし、これが抵抗に影響すると言う問題を、(1) あらかじめ短時間種々の温度や(2) 湿度に当てたもの(3) 実験時の個体密度の影響、及び(4) 麻酔したものの抵抗の変化の4組の実験で検討した。

緒 論

昆虫の熱に対する抵抗が、薬剤に対するその様に種々の外的内的条件によつて違ふことは良く知られている。昆虫の種類、期、年令、性等で相違することは比較的早くより知られている。同一種類、同一発育時期のものでも、昆虫がそれまでに経験した環境の温度の相違で (Kiryoku, 1953a), 或は昆虫の食物の量や質の相違 (清久, 1953b, 1954a) で場合によつては、かなり顕著な相違を示している。更に同一飼育環境の個体群に属するものでも所謂個体変異の相違があることは勿論、同じ成虫間で若いものと古いものの間の相違、羽化する時期の遅速の相違、食物を取つたものと、取らないものの間の相違等 (清久, 1954b), 抵抗の変化の要因は仲々多いことが精細に確められている。

近年昆虫の抵抗性の本質の研究が盛んになり、殊に薬剤等に対するそれでは、種々論ぜられ、その原因を遺伝的に求めようとする場合や、昆虫の合理的な生理的变化に求めようとする場合等各種の立場があるが、尚広く抵抗性の変化の事実を調べる必要がある。同一種、同一条件の個体でも、試験をする直前の僅かの条件の差で変化を示す場合がある。これは或は実験方法の相違による変化と混同する場合もあるが、抵抗の試験に於てはゆるがせに出来ない事実であり、厳密に言えば実験材料そのものの内部的要因と実験中の外部

的諸要因との中間に介在する抵抗変化の要因に関する注意すべき問題である。

この報文で取扱う問題は、実験例が案外少く、あつても単に個々の事実として上げられた程度のものであるから、少し精密に検討して見たい。何れも昆虫の生理的条件が、極く短期間の二次的環境の変化でおこり、これが抵抗の変化の原因になつて来ると言うテーマである。組織的な研究としては、もつと広く実験をやらねばならぬが、案外簡単にその目的にかなう結果が得られていることと、実験を1時中止する為に、これまでに得ている実験成績をまとめて見た。本報文を草するに当り、御懇篤な御指導を賜つた京大教授、内田俊郎博士に感謝の意を表する。

実験の目標と其の方法

30°C. 75% R. H. 内外の恒温度で飼育したアズキゾウムシ *Callosobruchus chinensis* の成虫を使つた。前に述べた様にごく僅かの期間の環境条件の変化として次のものが考えられた。

(1) 昆虫が高温に遭遇する時の、その体温である。若し体温が低ければ、遭遇する高温が比較的高くなくとも、昆虫のそれに対する感受性は大きいだろう。従つてそれに対する反応は大きくなるだろう。若しそれと反対では逆の結果となろう。応用の面に於て低温で

殺虫するとき一度暖い温度の所に暫らく置いてから低温に当てると、その致死低温は極端に低いものでなくとも、充分間に合うと言う様な例もある。この研究の目的の為に次の実験を準備した。

同一の飼育区から羽化した第1日目の成虫を雌雄毎に数組に分け、夫々を 35°C、30°C、15°C、10°C、関係湿度は食塩の飽和液で調節した装置の中に2時間入れてから、所定の高温装置 (46°C) の中へ同時に入れ、2時間高温曝露後、2日目の死亡率を算出した。この場合同一種の実験を3回繰返して、その平均値を計算した。この実験に於て、あらかじめ処理した温度が色々あるので昆虫の体温が相違していると言うことは勿論であろうが、温度で関係湿度は多少異なるのみならず、温度の高いものでは昆虫体からの水分の喪失が短時間であるが幾分は違ふであろう。故にこの実験を体温の相違にのみ帰するわけにはいかないだろう。然し便宜的に体温と言う問題を第一義的のものと思見出した。

(2) 上の実験を補う意味もあり、この場合には温度は一定 (30°C) で、関係湿度の違う場合を検した。1晝夜 (24時間) を3種の湿度 (水、食塩、及び塩化カルシウムの飽和液) で調節したもの、の中に置き翌日、(1) の実験と全く同様な方法で高温曝露、死亡率の算出を行つた。各種の湿度の中に24時間置く間に、死んだものは殆どなかったが、前の実験に比べればその処理時間が長い為に、かなり多くの生理的变化がおこつたであろう。水分の喪失と言う問題もあるから、別の材料で其の間中の体重の減少率を調べて見た。この調査は前記の各種湿度中のものゝ体重を毎日時間を定めて測り、体重の減少がなくなつた時の体重をはじめの体重から引き、それと第1日目の減少体重との百分比を計算した。

(3) 熱や薬剤の殺虫試験の際には一定数の昆虫の個体を用い、処理し、其の何パーセントが死んだかと言う風な調べ方がよく行われる。この場合に用いた個体の数が問題になる。勿論影響が少なくてすむ様に、その容器と個体数とのつり合いを適當にするが、熱や薬剤に触れると、死ぬまでにはばしい活動がおこつた

りするから、その中で集合、又は離散がおこり部分的には個体間の関係が、其の実験値に影響をもたらすことはあり得るだろう。これは古くより細菌等の場合で知られて居り、多くの場合に、個体数が多い方が死ににくいという結果が出ている。そしてその説明としては生物の数が多くと熱作用が緩和されると言う風になされた例もある。

実験方法としては、1定の大きさの容器の中、余り密につまつた程度にならぬように 75、50、35、25、10 頭づつ入れて5階級の密度を使つた。この場合に用いた高温は余り高いと死ぬまでの時間が短かく従つて個体間の関係や昆虫の活動によつて生ずる環境の変化が現われにくいだろうから、低い高温としての 42°C であつた。死亡率の計算は 75、及び 50 頭のは前後 2 回の平均、35 は 3 回、25 は 4 回、これは何れも、平均値である。然し 10 頭のは、斯様な容器 10 個の合算である。尙この実験は全体を同時にしたものでない。

(4) 外温が急に昆虫体に触れると、昆虫は盛に活動する。その際体温の上昇を調整するとか或は其の外の方法で高温に対してその害を少なくする様な現象があるらしいから、昆虫に高温を当てる前に何らか処置をして置いて、上の様な作用を止めて見た。この場合害のない程度のうすい麻醉剤で一時的にその活動を止めたものを試験に供した。実験方法の細部については、先ず羽化第1日目の成虫を二群に分ち、一方は市販のエチルエーテルを約2倍にうすめたもので麻醉し大部のものが動かなくなつたものを実験装置の中に他方の無処理のものと同時に入れた。高温実験装置は 53°C (湿度の調節は食塩の飽和液) でその曝露時間は6分以上、15分まで1分毎の実験値がある。所定の実験値を求める方法は同種の実験を3回繰返えし、その平均値を求めた。これらの実験値の整理には薬量死亡率曲線の probit 法の利用が原則的に可能である。

実験成績とその考察

(1) あらかじめ各種の温度に一定時間曝露した実験。これらの実験成績を示せば第1表の通りである。

Table 1: Effect of preconditioned temperature

Exp.	Preconditioned temperature (°C)	Duration of exposure (h)	Temperature (°C)	No. of experiments	Average mortality ♂ (%)	Ratio of mortality	Average mortality ♀ (%)	Ratio of mortality
A	30	2	46	3	65.34	1.00	79.62	1.00
	10	2	45	3	78.63	1.20	84.69	1.06
B	35	2	46	3	37.59	1.03	77.77	1.03
	30	2	46	3	75.85	2.02	87.20	1.12
	15	2	46	3	65.62	1.75	93.60	1.21

以上の2つの実験成績が明示する如く、あらかじめ低い温度に当てゝから、高い温度で殺したものが死亡率高いと言う結果がわかる。其の差は一般には余り大きいものではないが、[B]実験の雄の35°Cに当てたものは30°C及び10°Cに比して相当低いと言う結果が特に目立つて居る。特別にこれだけが目立った理由については簡単に説明されない。

然しこの実験成績は予期に反しない結果であつた。けれどもこの原因を論ずるに際しては必ずしも簡単には決められないであらう。發育をして居る昆虫のある期のものを比較的長い間種々の異つた温度の中に置けば、昆虫の体内の脂肪が変化をする。その変化の適当な指標として沃素価を用い、これの変化と熱抵抗力的変化とを対比させて、抵抗の要因を論ずる場合があつた (FRAENKEL and HOFF 1940; MUNSON, 1953)。然しこれらはあらかじめ当てる時間が長くて少くとも2週間であり、長い例としては成虫になるまでの全發育期間 (KIYOKU, 1953a) である。これに対してこの場合には試験前のきわめて短時間であるから上記の例の様な説明はやゝ困難である。従つて初めに想像した様に夫々の実験区の昆虫が高温に当てられる直前の昆虫の体温等が違ふために熱に対する昆虫の反応の程度が違ふことによる変化であらうと想像する。機構の何たるかを決定するには尚多くの実験を要するが、現象のみを取り上げてこれも重要な問題である。熱の実験に於て暖い時期の成績と寒いときとは一緒に取りあつかえないと言うことに対して確かな実験資料を与えんと共に、温度が影響する他のあらゆる現象の試験の上に注意を与えるものである。

(2) あらかじめ各種の関係湿度に曝露した実験。
これに関する実験成績をまとめて示せば第2表の通りである。

この場合にはかなり乾燥の環境条件に会つた方が死亡率が高いが、湿度が高い条件に置かれた方は死亡率が少ない。こまかく言えば雌の成績は不規則だが雄では乾燥の程度が大なるものほど死亡率が順次に高くなつて居る。あらかじめ置かれた環境の関係湿度は比較的明瞭にその昆虫の熱抵抗に規則的な影響を及ぼす結果がうかゞわれるが、この際の原因は比較的簡単なのであるまいか。

羽化した成虫を24時間各種の異つた関係湿度の下に置くとどんな変化がおこるか、容易に想像されることは、昆虫体からの水分の喪失が稍々相互に違ふであらうと言うことである。この程度を示すには別の実験を要するから、ごく比較的な関係を知る目的で前章に述べた方法で24時間内の体重減少率を比較した。

其の結果は第3表に示す通りである。
第3表の結果を検討すると関係湿度が低い場合が体重減少率が多い。この体重減少率を示す原因は体水分の喪失のみではないが、関係湿度の相違で多少の差のある事実から推せばそれが重要な原因の一と想像しても余り間違ひはないだろう。従つて試験の直前に体水分を多く失つたものは熱に対する抵抗が弱いと推論され、この種の昆虫では熱に対する抵抗は昆虫体の乾燥と結びつけて説明するには都合がよいこととなるが、著者のこれまでの研究に於て、高温曝露の際の関係湿度が低い方が死亡率が高いこと (清久, 1952) や熱抵抗の強い方は乾気中の生存期間が長いこと (清久, 19

Table 2: Effect of preconditioned humidity

Preconditioned humidity (%)	Duration of exposure (h)	Temperature (°C)	No. of experiments	Average mortality ♂ (%)	Ratio of Mortality	Average mortality ♀ (%)	Ratio of mortality
24	24	46	3	99.33	1.35	85.71	1.34
75	24	46	3	92.85	1.26	92.30	1.43
100	24	46	3	73.35	1.00	63.73	1.00

Table 3: Weight loss of adults

Temperature (°C)	Preconditioned humidity (%)	% of weight loss after 24h. ♂	% of weight loss after 24h. ♀
30	100	±0.	±0.
	75	12.1	8.5
	24	20.1	14.5
35	100	-0.2	±0.
	75	13.9	10.9
	24	23.1	13.7

Table 4: Effect of population density

Temperature (°C)	Duration of exposure (h)	Number of insects per unit volume	Number of experiments.	Average mortality (%) ♂	Ratio of mortality	Average mortality (%) ♀	Ratio of mortality
42	24	75	2	68.10	3.63	47.70	2.37
		50	2	27.06	1.44	29.50	1.42
		35	3	18.75	1.00	20.02	1.00
		25	4	38.65	2.05	37.02	1.84
		10	10	36.60	1.95	31.60	1.57

53 b) 等の事実と共に益々その証拠を固める結果となる。

(3) 個体密度の影響。次に実験に於て用いた昆虫の個体数の多少で死亡率が変化するという例は第4表に見られる。

第4表の結果から、単位容積当り35匹のものが雄の場合も雌の場合も一番死亡率が少く、それより個体数が少くても多くても共に死亡率が増大して行くという様子がうかがわれる。斯様な実験に於ても殺した高温の如何でその結果が相違するのではないと思われるが、この実験では昆虫が高温に触れて暫らく歩き廻り個体相互間の交渉や環境の変化が比較的容易に現われる様、高温死の温度で比較的低い範囲のものに従つてそれは時間が長くかかる温度 42 °C を使つて実験成績を出した次第であつた。

殺虫剤の方面では供試生物の個体数の多い方が順次に死亡率が少ないと言う例が多い様に思われる(例えば, SUN, 1947)。この事実の説明としては、生物一匹に対してはこれを殺すのに充分の電力がある場合でも、生物の数が多いとその電力がその生物の個体数に配分されるから一匹がうけとる比較電力は少なくなるという様な例がある(例えば, Allee, 1950)。熱に対するこの方面の研究は比較的少ないが、単細胞生物の例では細菌とか動物の血球や精子等媒体が液体であるものでは多少の例がある。これらの成績は上記殺虫剤の場合の様に個体数が多い方が熱に対する抵抗も強いと言うものが大部分で、それに対する説明として、生物の Surface catalysis が抵抗に関与する(BOHN and DZEWINA)とか細胞が一種の保護物質を放出する(ORSKOV)とかの説があつた(BELEHRADEK, 1935より)。これらの研究に対し、この場合は機構は多少ちがうであろうが 35 匹以下だと大体個体数の多い方が抵抗が強いと見做すことが出来、その結果は上に示した例の多くのものと一致する。しかし個体密度が更に高くなると再び抵抗は弱いという傾向を示して来る例は他にはない。これらの現象の説明の爲には別に実験を要する。

(4) 麻酔の影響。

高温接触時に昆虫の活動することが熱作用に何か保護作用があるように見えたから今度は昆虫を麻酔させて其の活動を止めてから高温に当てる。この実験成績は著者の x^k 型転換プロビット法(清久, 1951)により雄は時間軸を x^3 に雌は x^4 に転換して時間死亡率回帰直線を求めた。今この成績を示せば第1図の様になる。

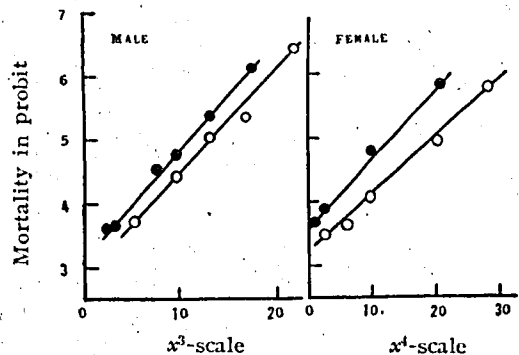


Fig. 1: Pre-narcotized influence on heat resistance compared by the regression line of probit-time in x^k scale.

第1図を見ると時間死亡率回帰直線は雌雄共に麻酔せしめた方が左側によつて居る。その傾きは大体平行であるが強いて言えば麻酔せしめた方が幾分立つている。この2つの事実から要するに麻酔した方が死にやすいと言うことがわかる。こゝに用いた麻酔はそのまゝにして(30°Cに放置)置けば1時間後には大部分の昆虫が動き出し、2時間後には殆ど全てのものが回復したから、普通ではその害はないと考えられるが、短時間ではあるが高温に接触せしめたものは死亡率が高くなつて居る。この理屈をはたして予想した様に解してよいか。

昆虫ではこの種の実験例が少ないので比較すべき資料を持たないから、単細胞生物の例を参照しよう(BELEHRADEK, 1935)。単細胞生物や植物の組織では麻酔をしたから熱抵抗が強い結果を示したと言う例はないではないが、多くのものはその方が弱い結果を

示している。この理由に関しては明確な解答がない。多くの成績は用いた麻醉剤の濃度が抵抗の程度に影響を与えている。つまり濃度の高いもの程抵抗が強いと言う例もあるから、麻醉と熱との影響が累加する為に抵抗が強いという結果になるのではあるまいか。勿論はじめにこのことを思い、害のない程度のうすい麻醉剤をつかつたのではあるがこまかに検討すれば奥はどちらが正しいかの決め手はない。厳密に言えば案外問題がありそうなのでこれは他日にゆずるとして、ここでは現象面のみを取り上げた。

摘 要

昆虫の高温に対する抵抗が実験をする直前の短時間の刺激の変化に応じて生理的状态が変化することにより相違すると言う実験例を処理した。

(1) 種々の温度に比較的短時間(2時間)曝露しても、その温度が高いもの程抵抗が強いと言う傾向を示す。

(2) 種々の関係湿度に曝露して見ると、湿度が高いもの程抵抗が強い様に見える。

(3) 個体密度の中程のものが一番強く、それが低くても又高くても共に抵抗は弱くなつて行く。

(4) 麻醉して高温に当てた場合は、麻醉剤の濃度がうすく余り害がない様に見えてもやはり死亡率は高い。

(5) (1)~(4)の事実、大体があらかじめ予想された結果であるが、その原因について色々考えられたが、簡単に決められない。

文 献

ALLEE, W. C. et al. : Principles of Animal Ecology.

BELEHRÁDEK, J. : Temperature and Living Matter, Berlin, 196, 200(1935)

FRAENKEL, G. and HOFF, H. S. : Biochem.

Jour. 34, 1085(1940)

清久正夫 : 防虫科学, 16, 121(1951)

—— : 防虫科学, 17, 157(1952)

—— : Bull. Kyoto Gakugei Univ. B 3, 10 (1953a)

—— : 防虫科学, 18, 193(1953b)

—— : Bull. Kyoto Gakugei Univ. B4, 23 (1954a)

—— : 応用昆虫学会講演, (1954b)

MUNSON, S. C. : Jour. Econ. Ent. 64, 657 (1953)

SUN, Y. P. : Minnesota U. Agr. Exp. Sta. Technical Bull. 177, 38, 41~47(1947)

Résumé

In the present paper, the writer has dealt with the changes in resistance of insect to heat by the changes in resistance of insect to heat by the preconditioning of environmental factors, such as temperature, relative humidity, population density and narcosis.

(1) Preconditioning of the insects by different temperatures for 2 hours increases or decreases their resistance to heat; their resistance increases with an increase of the temperature preconditioned.

(2) When insects are preconditioned by low humidity for 24 hours, harmful effect appears and insects become less resistant.

(3) An increased density of population in a used cage makes the insects more resistant to heat, but at high density the resistance decreases inversely.

(4) The resistance of insects to heat decreases by the pre-treatment of ether.