

8, 次いで、ナガシクイ、ココグゾウの順でアズキノウムシは最も感受性が高い。

3) γ -BHC ガスに対する抵抗性に関与する因子として呼吸代謝の大きさをとりあげ、各供試昆虫の酸素消費量を測定して、これと抵抗性との関係を追求した。ココグゾウ、ゴコグゾウ、ナガシクイ、及びコクヌストモドキの抵抗性の強弱と呼吸量の大小の間には負の相関的關係が認められた。

V 文 献

- 1) Slade, R. E. : Chem. & Indust., **40**, 314 (1945)
- 2) Cherian, M. C. & Rao, P. P. N. : Indian Farm., **6**, 572 (1945)
- 3) Gay, F. J. : Austral. Council Sci. Ind. Res. Bull., **225**, 33 (1947)
- 4) Larter, L. N. H. : Trop. Agr., **24**, 40 (1947)
- 5) Owen, E. : J. Inst. Brewing, **53**, 236 (1947)
- 6) Emmel, L. : Anz. Schädlingkunde, **21**, 89 (1948)
- 7) 中島 稔, 大久保達雄 : 防虫科学, **15**, 175 (1950)
- 8) Bliss, C. I. : Ann. Appl. Biol., **22**, 134 (1935)
- 9) Sun, Y. P. : Univ. Minn. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull., **177** (1947)

- 10) Carpenter, E. L. & Moore, W. : J. Econ. Ent., **31**, 270 (1938)

Résumé

Using several species of insect pest of stored products, the susceptibility of them to the gaseous form of γ -BHC is compared with each other. The results on the relative resistance of the adults of these insects are analyzed by Bliss's method and shown in table 2. The resistance of insects to the gaseous γ -BHC is shown in descending order as follow :

- 1) female of *Callosobruchus quadrimaculatus*, and *Tribolium castaneum*
- 2) *Calandra oryzae*, and male of *Callosobruchus quadrimaculatus*;
- 3) *Rhizopertha dominica*, and *Calandra sasakii*;
- 4) *Callosobruchus chinensis*.

The relation between the order of relative resistance and the intensity of respiratory metabolism is discussed, for the respiratory metabolism had been considered as a possible factor bringing some influence into the susceptibility of insect to such a gaseous poison.

Relative Humidity as a Factor Influencing the Resistance of *Callosobruchus chinensis* to Heat. Masao KIYOKU (Biological Institute, Kyoto Gakugei University) Received Nov. 25, 1952. *Botyu-Kagaku* **17**, 156, 1952 (with English résumé, 161)

28. アズキノウムシの熱抵抗に関する要因としての関係湿度に就いて 清久正夫
(京都学芸大学生物学研究室) 27. 11. 25 受理

緒 言

一般に関係湿度が昆虫の熱死点を变化せしむると言うことが知られて居る。本研究の目的は上の問題を正確に検討することである。その為には主として 48°C に就いて種々の異なつた関係湿度の下に於ける昆虫の熱抵抗の変異の分布型式を窺ひ、Probit を用いた統計的方法を利用して比較検討し、更に熱抵抗性を決定する 3 要因、関係湿度、ばく露時間及び死亡率の関係を数量的に示そうと考えた。

材料及び方法

一定の系統に属し一定の条件の下に飼育して得たアズキノウムシ *Callosobruchus chinensis* の羽化 20 時間以内の成虫を実験に供した。実験した温度は 48°C、湿度は数種の無機塩類の飽和液による調節法を採用した。その種類は $ZnCl_2$, $CaCl_2$, $Ca(NO_3)_2$, $NaBr$, $NaCl$ 、及び水である。

所定の温度の下に昆虫をばく露せしめるには一定数

の材料を所定の容器に入れて投げ入れ、所定の時間が経過した後取り出し、飼育室に移し 3 日後生死の虫数をかぞえ死亡率を算出した。これらの材料及び方法は湿度に関する事項以外は著者の前報 (1951 a) と同様であるから細部の説明は省略する。

実験成績

同一の実験を 3-4 回繰返して得た結果の平均値を求め整理して示せば第 1 表の通りである。

第 1 表に示した成績から死亡率を縦軸に時間(分)を横軸に取つて作図すれば大体 S 型をした時間死亡率曲線が得られ、其の配列の状態や傾斜の様子から湿度の相違による差を認めることが出来る。即ち雌雄共に曲線は関係湿度が低くなるに従つて順次左方へ移り、且つその傾斜が急になつて来る。然し本実験の湿度の両極端のもの、即ち 10% R. H. 及び 100% R. H. の曲線がこの図の両端に位置するとは限らないこと、と、55% R. H. と 48% R. H. の両曲線がきわめてよ

Table 1. Time-mortality relations under different conditions of relative humidity

Relative humidity		Exposure time in minute												No. of experiments	No. of insects used	
		10	20	30	40	50	60	70	75	80	90	100	105			120
100%	♂	5.1	8.3	8.3	23.1	30.0	34.0	42.8	—	76.8	82.0	90.4	90.4	95.6	3	150
	♀	7.1	7.4	13.5	20.0	24.0	42.0	49.1	—	59.8	67.4	84.0	90.9	94.7		
75%	♂	—	6.5	10.2	16.2	—	29.5	—	46.8	—	77.3	—	95.0	100	5	250
	♀	—	5.8	8.1	10.5	—	20.1	—	52.1	—	76.5	—	95.0	98.1		
55%	♂	7.6	12.8	18.1	24.5	42.5	60.5	84.4	—	96.5	98.0	100	—	—	3	150
	♀	4.0	8.9	14.8	20.8	46.8	71.9	87.9	—	96.2	98.1	100	—	—		
48%	♂	2.0	6.4	24.8	31.2	44.1	59.7	75.7	—	81.4	87.2	—	—	100	4	200
	♀	1.0	12.8	25.9	40.1	46.4	77.6	83.3	—	—	93.1	96.0	100	—		
24%	♂	6.5	12.1	22.9	54.8	77.5	93.5	97.2	—	100	—	—	—	—	4	200
	♀	2.2	10.8	16.4	42.2	77.1	93.2	94.8	—	100	—	—	—	—		
19%	♂	9.0	8.1	23.1	33.1	54.2	88.0	94.0	—	95.1	100	—	—	—	3	150
	♀	2.0	10.0	17.9	41.8	70.1	81.8	82.6	—	98.1	100	—	—	—		

く近接して居るから両者を別々のものと見てよいかどうかと言うことが疑問とされる。今雄の成績を例示せば第1図に示される通りである。

以上の図を見ることによつて関係湿度の相違で時間死亡率曲線が異なることの見当がつかうが、くわしく論ずる為にはこの曲線の性質を明かにしその性質に基づいて適当な数値を算出し、それによつて検討すべきである。

考 察

(1) 時間死亡率曲線の性質

第1図に示した曲線、即ち時間死亡率曲線はこの場

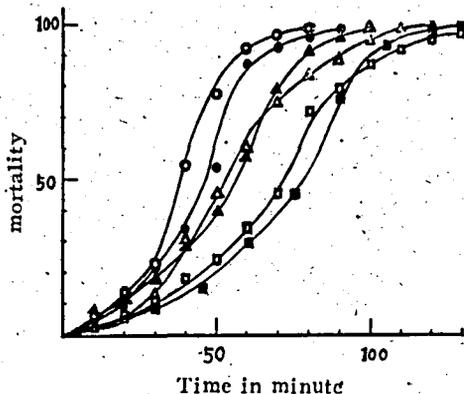


Fig. 1. Time-mortality curves of male weevils for different relative humidities under a constant temperature of 48°C.

- 19% R.H. ○—○ 24% R.H.
- △—△ 48% R.H. ▲—▲ 55% R.H.
- 75% R.H. □—□ 100% R.H.

合にも著者の前報 (1951 b, 1952) の見解と同じく原則として昆虫の温湿度に対する抵抗性の変異の累積曲線と考えて考察を進める。

先ず抵抗性変異の分布型想定方法として Probit 法を用い、死亡率の pro'it を時間(分)に対して作図すると容易に直線化されると思われるのは雄では24%と100%、雌では19%、24%及び100%で、其の他のものは1直線で示すことが困難の様に見えるから、相交わる2本の直線で示した。

以上の事実に対する解釈としては次の様に考える。温度及び飽差の本質的な作用機構は従来明でなく、又本研究に於ても明にすることは出来ないが、温度と飽差が昆虫の死に対して効果を呈する様子を窺う上に参考となると思われる事実を求めよう。それは実験成績から飽差と死亡率の関係をそのばく露時間毎に画いて比較することである。こゝにあげる曲線は時間死亡率曲線の様な昆虫の抵抗性変異の累積曲線と言ふものではなく熱作用によつて生ずる死亡率が飽差の影響をうけて変化する有様を示したものと考えられる。其の図の型は雄を例にあげると第2図の通りである。

第2図で明にされた事はばく露時間の短い20分では殆ど水平の直線で示される。之に反してばく露時間が長い40分、60分、80分では直線の傾斜が漸次急になつて来る。これは時間が長くなるにつれて飽差の死亡率に対する影響がますます顕著になることを物語るものである。

上に示した事実を以つて再び第1図に示した時間死亡率曲線の成り立ちを考えると、それらの左方の死亡率つまりより短い時間で表わされた死亡率を生ずる際

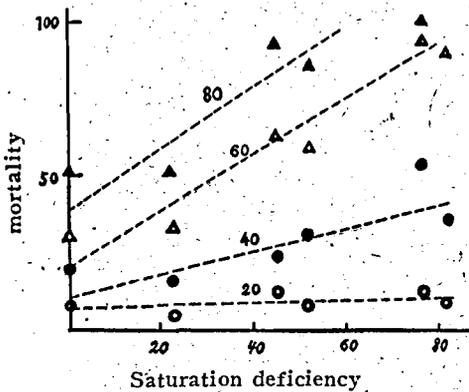


Fig. 2. Effect of saturation deficiency on the mortality when test weevils are exposed to 48 °C for 20min., 40min., 60min. and 80min.

の昆虫の致死機構と右方のものつまりより長い時間で表われた死亡率のそれとは互に違つたものであると言うことに気がつく換言すれば斯様な時間死亡率曲線は昆虫の抵抗性の相違に由来しているものではあるが昆虫の致死機構の変化に基づいて抵抗性其のもの、標準が変化して居ると考えられるものである。故に簡単に同一抵抗性変異の範囲内で1つの頻度分布曲線の累積曲線と見ることは適當でない。そこで斯様に時間的に致死機構が変化するものでは時間死亡率曲線の時間軸を類似の致死機構を呈する範囲に分割して処理する必要が生ずる。先に1直線化し得なかつたものに対して相交わる2本の直線で示そうとしたことは斯様な意味で意義がある。

湿度の極端に低いもの、雄では24%、雌では19%及24%の Probit-時間回帰線が直線を成す理由は未だ明でない。これらは勿論飽差の影響をうける筈であるが、結果を見れば致死時間の変異の範囲がせまく必然的に時間死亡率曲線が立つて来る。本来は致死機構の時間的な変化がおこり2直線で示さるべきものが上の理由によつてあまり明瞭でなく見掛けの上で容易に1直線化されたのではあるまいか。又湿度が高いもの即ち100%の実験ではその飽差は湿度の如何にかゝらず常に0である。勿論飽差0 そのものが致死に影響をあたえと考えられるが第2図を見てもわかる様にばく露時間の長短による死亡率の変化の中は0以上の飽差の何れよりも小さい。故に飽差0に於ける時間死亡率曲線の致死機構の時間的な変化の程度は他のものに比して大でないから1本の変異曲線の累積曲線として示され、Probit 時間回帰線が1直線を呈したのではあるまいか。

要するに斯様な温湿度組合せの実験から得られた時間死亡率曲線の多くは時間的に変化する致死機構の変化に於ける抵抗性変異の累積曲線の部分部分が互に連結したものと云う風に結論される。

(2) 時間死亡率曲線の計算に関する見解と其の計算結果。第1節の考察よりすれば Probit-時間(分)直線が2本又は3本で示されるものはそれぞれの直線の部分毎に計算しなければならぬこととなるがこれは処理が厄介であるばかりでなく実際に於て常に温度と飽差が別々に作用していると考えことは未だ論議する余地がある。そこで時間死亡率曲線の計算には次の便法を用いた。それは著者の前報(1951 b)の“ X^k transformation”を用いる方法であつて、この方法を此処に應用した理由は次の通りである。

(i) 変異曲線を1本の正規型に近いもので示す為に時間死亡率曲線の時間軸の目盛りを昆虫の死の時間的增加の特性を現わす目盛りに置きかえよう方法が考えられること。

(ii) その増加の特性を示す為にはこの場合に取扱つた現象も熱が主因となつて居るから前報の場合と同じ様に原則的にはその作用時間 X の X^k に比例すると考えてはどうかと思われること。

(iii) X^k の k は温湿度組合せの如何で変化すると想像される。何となれば温湿度組合せの如何で死の時間的增加の様式が変化するからである。

上の方法を用いる為には時間軸を X^k におき換へる際、問題は k の具体的な数値が何程かと言うことである。ここでは前にならつて (0.5, 1.0, 2.0) 等の如き簡単な、そして其の変化が幾何級数的なものを用いた。第1図に示した曲線を Probit と (minute)^k の關係であらわすと全てが大體1本の直線で示される。そこで “Probit- X^k transformed time regression line” が得られる。この計算には BLISS(1935a) の dosage-mortality curve の計算方法を採用し第2表に示す様な結果を得た。

(3) 關係湿度が異なる時間死亡率曲線の比較に関する問題。第1図を見ると細かな点を除いて大體の見当では關係湿度が異ればそれに応じて別々の曲線が得られることがわかる。又計算によつて求めた中央致死時間で比較すれば夫々異つた値が示されて居る。然しそれだけの相違で關係湿度に依る相違があると言うことは充分でないから一応統計的処置を試みてその相違をたしかめた。

その方法としては2つの度数分布の比較に χ^2 検定を應用する一般的な方法を用いれば良いが既に斯様な種類の実験成績に対して BLISS(1935b) が考案した χ^2 検定を用いる方が便利であるからこれに従ひ、所要の値を計算すれば第3表の通りである。

Table 2. Calculation of probit-time in X^k scale regression equation, the errors of random sampling and measurement of agreement between observation and hypothesis

	k	Equation $Y=a+b(X-\bar{x})$	Pr of χ^2	$V(a)$	$V(b)$	M.L.T.	C.V.
♂	19%	$Y=4.770+0.629(X-1.983)$	0.534	0.00315	0.001373	48.456	67.67
	24%	$Y=5.058+0.066(X-39.336)$	0.433	0.00352	0.000012	38.454	39.40
	48%	$Y=5.217+0.529(X-7.557)$	0.628	0.00221	0.009788	51.051	26.45
	55%	$Y=4.803+0.529(X-2.499)$	0.725	0.00269	0.000713	53.581	65.83
	75%	$Y=4.741+0.296(X-4.723)$	0.757	0.00319	0.000253	74.819	60.35
	100%	$Y=5.045+0.033(X-68.300)$	0.123	0.00184	0.000002	66.939	45.26
♀	19%	$Y=5.084+0.061(X-45.387)$	0.849	0.03349	0.000012	44.000	37.28
	24%	$Y=5.067+0.068(X-42.479)$	0.051	0.00362	0.000013	41.485	35.43
	48%	$Y=5.164+0.562(X-7.029)$	0.885	0.00243	0.000686	45.387	26.27
	55%	$Y=4.828+0.437(X-2.508)$	0.050	0.00305	0.000786	51.671	65.39
	75%	$Y=4.669+0.310(X-4.919)$	0.423	0.00324	0.000244	77.375	53.78
	100%	$Y=5.042+0.029(X-70.912)$	0.757	0.00167	0.000002	68.146	49.90

k : exponent of X

X : time in x^k scale

Y : mortality in probit

$V(a)$: variance of coefficient a, $V(b)$: variance of coefficient b

M.L.T.: median lethal time

C.V.: variation-coefficient

Table 3. χ^2 -test for the difference between two time-mortality curves (according to the Bliss's method)

	bc	$\chi^2 a$	$\chi^2 b$	$\chi^2 a + \chi^2 b$
difference between the curve of 19% R.H. and that of 55% R.H.	0.563	54.62	47.93	102.55
55% R.H. and 75% R.H.	0.359	12.57	56.20	68.77
19% R.H. and 24% R.H.	0.064	2.77	3.21	5.98

この場合の危険率5%は χ^2 の値が 5.99 であるから表の上2段はそれぞれ別々のものとして断定出来るが下段のものは必ずしも両曲線を別々のものと見ることが出来ないとする結果となつた。尚こゝにあげた例はこの処置が必要と思われるものの1部にすぎない。又2つの曲線がかなり接近していてもその傾斜の違うものつまり k の値が違うものゝ間の比較にはその処置が厄介だから省略した。要するに統計的に見て random sampling の誤差を考慮すれば関係湿度の差の大きいものゝ間には相違が認められるが、その差の小さいものゝ間には必ずしも差があるとは言えない。

(4) 飽差の影響の数量的な記載。 Probit- X^k transformed time 回帰直線式から 10%, 30%, 50%, 70% 及び 90% 死亡の時間(分)を算出し、それと

飽差との間の関係をそれぞれの死亡率毎に求めれば昆虫の熱抵抗が飽差の影響をうける様子を比較的正確に数量的に表現することが出来る。其の関係をあらかじめ作図法によつて検せば何れの死亡率のものも飽差に対して時間が直線的に減少する様に見えるから回帰分析法を用いて直線性の検定を行い、其の実験式を求めると第4表に示す通りである。第4表に示された結果では L.T. 30% 以下のものゝ直線性はやゝ無理の様だが50%以上では直線の適合がよい。

次に実験式の係数を検すると死亡率の相違で異なつた値を示して居るから、これらの変化を検する為には死亡率の Probit(Y) との関係を作図法により予想すると夫々容易に1直線で示される。この場合にも回帰分析法を以て直線性の検定を行い其の実験式を求めると第5表に示す通りとなる。

第5表の結果から係数 a 及び b は何れも死亡率の probit に対して比例的に変化すると言う様子がわかる。

(5) 熱抵抗の3要因、飽差(X)、ばく露時間(Z)及び Probit で示した死亡率(Y)の関係。前節で明にされた通り、 Z と X との間には $Z=a-bX$ なる一般式が成り立ち、この式の係数 a' 及び b が死亡率の取り方で変化し Y に対してそれぞれ $a=-c+dY$, $b=-c'+d'Y$ なる直線式で示されたから $X:Y:Z$.

摘 要

の関係を1つの式で示す為に $Z=a-bX$ の係数を a は (-76.047+29.393 Y), b は (-0.461+0.179 Y) で示すと $Z=0.461 X + 29.393 Y - 0.179 XY - 76.047$ なる式が得られる。この式は勿論近似式であるが検算の結果は比較的良く適合するからこれを採用することとする。

本研究は Probit を用いる統計的方法を用いて、アズキノウムシ成虫の熱抵抗性が関係湿度により相違する現象を検したものである。

(1) 統計的方法 (χ^2 -test の応用) を用いて比較すれば関係湿度が相違するに従つて抵抗性に变化が認め

Table 4. Analysis of covariance for linearity of the relation between time required for certain mortality and saturation deficiency

	Description	Sum of square	Degrees of freedom	Mean square	Equation, $Z=a'-bX$
L. T. -10	Regression term	140.419	1	140.419	$Z=31.715-0.205 X$
	Residual	87.128	4	21.782	
	Total	227.547		$F_0=6.44$	
L. T. -30	Regression term	317.111	1	377.111	$Z=56.645-0.336 X$
	Residual	230.641	4	57.660	
	Total	607.752		$F_0=6.54$	
L. T. -50	Regression term	632.092	1	632.092	$Z=72.026-0.435 X$
	Residual	235.924	4	58.981	
	Total	868.016		$F_0=10.71$	
L. T. -70	Regression term	936.663	1	936.663	$Z=86.679-0.529 X$
	Residual	223.537	4	55.884	
	Total	1160.200		$F_0=16.76$	
L. T. -90	Regression term	1475.959	1	1475.959	$Z=107.376-0.664 X$
	Residual	400.132	4	100.033	
	Total	1876.091		$F_0=14.75$	

L. T. -10, etc : 10% lethal time etc.

Z : lethal time in minutes

X : saturation deficiency

Table 5. Analysis of covariance for linearity of the relation between mortality in probit (.) and a or b

	Description	Sum of square	Degrees of freedom	Mean square	Equation
a	Regression term	3312.974720	1	3312.974720	$a=-76.047+29.393 Y$
	Residual	6.437127	3	2.145709	
	Total	3319.411847		$F_0=1544.01$	
b	Regression term	0.12393	1	0.123953	$b=-0.461+0.179 Y$
	Residual	0.000018	3	0.00006	
	Total	0.123971		$F_0=20658.83$	

められ一般にその低くなるにつれて弱くなると言う結果を示すが、関係湿度の僅かの差ではその変化は明でなく、又 100% R.H. とする様な極端に高い所ではかえつて弱い。要するにある関係湿度に於て最も強くそれより低い時又は高い時には弱くなると言う趣を呈する。

(2) 湿度 (飽差) の作用が昆虫に効果を呈する様子は時間的に湿度より遅れる様である。その結果、温度湿度組合せの実験より得られた時間死亡率曲線は作用機構が時間的に変化するという性質を持つと思われるから 1 本の変異の累積曲線としては取扱えない。この処理に対しては "X^k-transformation" を用いる probit 法を以て計算した。

(3) 各種の死亡率を示す致死時間 (分) を計算し、熱に耐える時間 (分) と飽差との関係を検するとそれらは何れも大体直線函数で示される。然しこれらの直線は相互に平行ではなく直線式の係数は用いた死亡率の如何で変化を示す。そこで係数と死亡率の probit との関係を検するとこれらも亦一定の直線函数で示された。

(4) 第 3 項の関係から熱抵抗の 3 要因、飽差 (X) ばく露時間 (分) (Z) 及び probit で示した死亡率 (Y) との間に $Z=0.461X+29.393Y-0.179XY-76.047$ なる式が成り立つことがわかつた。

参 考 文 献

1. BLISS, C. I. (1935 a) Ann. App. Biol. 22, 134-167
2. — (1935 b) — 307-336
3. 清久正夫, (1951 a) 京都学芸大学々報 No. 1. 89-100
4. — (1951 b) 防虫科学 16-II, 119-130
5. — (1952) Bull. Kyoto Gakugei Univ. Ser. B, No. 2, 16-33

Résumé

The purpose of the investigation is to determine the fundamental differences in the experiments of different humidities at high temperature using the adult of *Callosobruchus chinensis* by the calculation of probit-method. *Callosobruchus chinensis* used as the experimental

material was obtained from the culture under the constant laboratory condition. They are subjected to sudden exposure to a given constant temperature for various definite periods under some different relative-humidities.

When some time-mortality data for different relative-humidities under constant temperature of 48C. are compared with each other using X²-test, the differences between the time-mortality data under different humidities are significant within limits of experimental and sampling errors. It seems that the resistance of insects takes highest value at a certain point of relative-humidity and it decreases with increasing or decreasing humidity.

Judging from the results of experiment, the sigmoid time-mortality curves brought about by the combination of temperature and humidity might not be interpreted as a simple cumulative curve of variation in insect resistance to these lethal agents, but they can be represented by the functions of temperature and humidity. Therefore, these curves should be calculated by the probit-method using "X^k-transformation".

The time required for definite mortality of insect (from the above calculation) varies in inverse proportion to the saturation deficiency of air, that is, these relations are represented by the equation of straight line, $Z=a-bX$ (Z is time required for kill, X is saturation deficiency a and b are constants). Moreover, these constants in the equation are proportional to the mortality in probit; that is, $a=-76.047+29.393Y, b=-0.461+0.179Y$ where Y is probit. The relation between saturation deficiency, mortality in probit and time required for kill is, therefore, represented by the equation $Z=0.461X+29.393Y-0.179XY-76.047$.