毒物に依る魚介類の死亡—I. 化学薬品による稚鯉の死亡

吉原 友吉・阿部 博
(東京水産大学)

The Toxicity of Chemicals on Fish — I.

Death of the Young Carp, *Cyprinus carpio* LINNE, by Echemicals

Tomokichi YOSHIHARA and Hiroshi ABE

In order to make contributions to our knowledge of various effect of chemicals on fish, young carps were kept in the water which contains various chemical substance with various concentrations, and their responses in accordance with time were observed.

The results were analysed by the probit analysis using the probability paper. In Fig. 3, the relationship between the concentration of chemicals and the mean survival time is shown.

1. ま え が き

水質汚濁の原因である産業排水、農業、火山からの毒水に含まれる化学成分による魚類の致死限界を知るため、それらが単独に作用した場合の濃度と死亡時間との関係を求めた。従来の研究⁷⁾その他では二、三のもの^{3), 6)}を除いて単に供試魚全体の死亡する濃度を求めたものが多いが、その方法では供試魚の薬品に対する個体差を考慮してない。本報では毒物濃度が一定であれば、各個体の致死時間或ひはその対数は近似的に正規分布をなすことを利用し、確率紙を用いて求めた致死時間の平均値と毒物濃度の関係を調べた。

ここに得られた結果から、毒物の濃度と作用時間がきまれば、全体の何%が死亡するかを推定出来る。併し乍ら、実際には単独に作用する場合及び高い濃度で作用する場合よりいくつかの毒物が同時に、且低い濃度で長時間作用する結果、被害の生ずることが多いと思われるので、毒作用の機構、除毒法、体型の大小による抵抗力の差についての研究と共にこの方面の研究を進める必要がある。本報では主として無機化学薬品が単独に作用した場合の結果だけ求めてある。

2. 半 数 死 亡 時 間

濃度 x の水溶液中に t 時間魚を入れたとき n 尾中 m 尾が死んだとする。 $p=m/n$ は死亡率の推定値で x と t の函数である。 x を一定にして t を横軸、 p を縦軸にとり、グラフを画くと第1図に示す如き S

Fig. 1. Relationship between the concentration of HCl (x mol.) and percentage kill ($p\%$) of carp, showing the normal sigmoid curve.

濃度を異にする塩酸溶液中に稚鯉を入れたときの時間の経過に伴う死亡率の増加を示す。横軸は時間 t 分、縦軸は死亡率 $p\%$ 、 $a, b, c, \dots$ は第2表に示す塩酸溶液濃度の記号。

字型の曲線が得られる。 $p=50\%$ に対応する t の値が半数死亡時間である（後段に於ては正規分布を仮定するから、これは平均死亡時間に一致する）。

この S 字型曲線は確率積分曲線で表わされるのが普通^{12),13)}であるが、Logistic 曲線を用いることもある^{10),11)}。但し通常 Probit Analysis では t を一定にして x を変えた場合について論じられる。又横軸には t 又は x の代りにその対数を目盛ることが多い²⁾。本報では濃度 x で時間 t までに死亡した個体の割合 (p) は次式で表わせるものとして扱った。 $\log t$ を用いない理由は、確率紙により判定した結果殆んど差違が認められなかつたからである。

$$p = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^t \exp \left[-\frac{(t-\tau)^2}{2\sigma^2} \right] d\tau$$

茲に x の単位は mol, t の単位は分, τ は母平均, σ^2 は母分散である。 τ 及び σ^2 の推定値を $\bar{t}$ 及び s^2 と表わす。

3. 実 験

水質汚濁の原因となり、被害を与えると予想される化学薬品 16 種、農業 2 種を用い各濃度の水溶液を作り、その 3 L を入れたバットに 稚鯉 30~100 尾を入れ、斃死時間を記録した。供試魚は 1953 年 5 月に孵化したもので、実験は主に同年 8 月に行い、一部は 11 月に行つた。夫々のときにおける平均体長は 34 mm 及び 45 mm で、予め出来る丈同一体長のものを選別して用いた。使用薬品は第 1 表に示す如くで、塩酸の場合のみについて死亡時間を第 2 表に示した。

Table 1. Names of chemicals used and their concentration.

使用薬品の濃度範囲及定数 α , β の値

記号	薬品名	Chemicals	α	β	濃度 (mol) Concentration
A	HCl	塩酸	-0.26	0.82	0.075 ~ 0.0075
B	BaCl ₂	塩化バリウム	-1.24	-0.02	0.06 ~ 0.024
C	NH ₄ Cl	塩化アンモニウム	-2.19	0.07	0.37 ~ 0.12
D	CaCl ₂	塩化カルシウム	-2.02	0.31	0.45 ~ 0.13
E	H ₂ SO ₄	硫酸	-0.36	0.28	0.0041 ~ 0.0006
F	(NH ₄) ₂ SO ₄	硫酸アンモニア	-0.54	1.13	0.30 ~ 0.008
G	CuSO ₄	硫酸銅	-0.02	1.45	0.12 ~ 0.01
H	FeSO ₄	硫酸第一鉄	-0.74	0.78	0.12 ~ 0.02
I	CrK(SO ₄) ₂	クロム明礬	-1.23	-0.31	0.13 ~ 0.007
J	KOH	苛性カリ	-1.04	-1.16	0.008 ~ 0.004
K	KCN	青酸カリ	-0.55	-0.75	0.001 ~ 0.00006
L	NaOH	苛性ソーダ	-1.83	-2.96	0.0075 ~ 0.0045
M	Na ₂ CO ₃	炭酸ソーダ	-0.46	0.39	0.028 ~ 0.007
N	C ₂ H ₄ O ₂	酢酸	-1.03	0.23	0.20 ~ 0.020
O	H ₃ PO ₄	磷酸	-0.47	-0.18	0.004 ~ 0.002
P	C ₄ H ₈ O ₄	酪酸	-1.34	-1.63	0.013 ~ 0.002
Q	農薬	ウスブルン	-0.27	1.09	×100 ~ 7100 (倍)
R	農薬	フヂボルドウ	-0.55	0.70	×100 ~ 900 (〃)

Table 2. Toxicity of HCl to carp, percentage kill at various concentration.

Conc. (mol.)	min.	死 亡 す る ま で の 時 間																										$\bar{t}$	s			
		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	半数死亡時間	S.D.								
a	0.075	2	3	9	24	68	95	100																						11.4	1.09	
b	0.063			1	3	13	19	56	73	85	91	98	100																		14.2	1.81
c	0.045					2		8	33	42	58	80	98	100																	16.4	1.63
d	0.030							1	—	15	32	50	71	98	100																18.9	1.63
e	0.007									8	10	13	19	33	46	56	75	84	93	99	100										22.1	2.79

塩酸を用いて行つた実験結果、気温 29.1°C、水温 24.8~25.0°C、平均体長 35 mm、標準偏差は各毒物・各濃度で求めてあるが簡単の爲略した。概略値は C.V. (変異係数) で約 10 %である。

4. 結 果

半数死亡時間 ($\bar{t}$) と毒物濃度 (x) を両対数方眼紙上に目盛ると、大体一直線上に並ぶ。但し濃度が非常に低い場合には 100 % 死亡しない為に、この直線から外れる。例えば塩酸の場合には第 2 図に示す如くである。各薬品についての結果をまとめて、第 3 図に示した。これからして薬品の毒性の順位が定まる。この場合記号 G で示した硫酸銅は、実験範囲内の濃度では同程度の毒性を示すことに注意を要する。

Fig. 2. Relationship between the concentration of HCl (x mol.) and the mean survival time (t min.)

塩酸溶液の濃度と平均生存時間(半数死亡時間)の関係

Fig. 3. Relationship between the concentration of chemicals and the mean survival time on various chemical substance. A, B, C, are names of chemicals shown in Table 1.

各種毒物溶液の濃度と平均生存時間の関係

稀釈に用いた井戸水で対照実験を行つた結果では何等の斃死も生じなかつた。水温も実験条件の範囲内では影響が認められなかつた。

5. 論 議

濃度 x のときの probit 回帰直線^{4),5)} の方程式は、死亡率 (p) を probit に直した値を y とするとき

$$y = (t - \bar{t})/s + 5$$

で与えられる。ここに $\bar{t}$ と s^2 は母平均及び母分散の推定値であつて、塩酸の場合には第 2 表の如くなる。

x と $\bar{t}$ の関係は近似的に上述の如く

$$\log \bar{t} = \alpha \log x + \beta$$

と表わされる。この α と β の値は第 1 表に示してあるが、 $\alpha < 0$ であるから $\alpha = -A$, $10^\beta = B$ とおくと、

$$\bar{t} = Bx^{-A}$$

なる Ostwald の法則²⁾ が求まる。

$\log \bar{t}$ と $\log s$ の間には近似的に直線関係が成立する。これら両関係は、ボウフラについても認められている³⁾。

農業については 2 種だけについて試験したが、BHC^{6),9)}, Rotenone^{6),8)}, ホリドール^{1),9)} についても研究されている。その後、多くの研究者より種々な農業についての研究が発表されているが、著者も亦研究中であるから、その結果は次報で述べる。

6. 謝 辞

本実験を行うに当り、多大の援助を与えられた群馬県水産試験場五十嵐徹夫場長、同田中榮司技師の両氏に深謝する。

文 献

- 1) 加藤 孝： ホリドールの魚類に及ぼす影響について—いなのホリドール（パラチオン剤）に対する抵抗性 徳島水試だより, No. 5, 1953, 9—12.
- 2) 大沢 済： 集団の生理、刺戟—反応現象の統計的解析 岩波科学文献抄, No. 23, 1950, 24—49.
- 3) 田内森三郎・安田秀明： 有毒物質の毒作用に就て 水講試報, 24 (1), 1928, 29—37.
- 4) 玉置文一： 生物学的試験法に於ける統計的方法 化学の領域, 増刊第 11 号, 第 2 集 Bioassay と推計学 1953., 9—44.
- 5) 高木敬次郎： E.D. 50 % (50 % 有効量) の簡単計算法 同上, 45—53.
- 6) 高橋善彌・長島真助： BHC 及ロテノーンに対する稚鯉の抵抗力試験 群馬水試報告, No. 11, (昭和 25—27 年度) 1954, 32—53.
- 7) 大島信夫： 仔鰻に対する塩類電解質の致死濃度並に被害現象に就て 水試報, 2, 1931, 139—195.
- 8) 水沼栄三郎外： 化学物質及び農業の魚類に及ぼす影響 第 3 報, 小鮎に及ぼす農薬デリス剤の影響 滋賀水試研報 4, 1953.
- 9) 山下武雄： 農薬が養鯉事業に及ぼす影響についての一、二の実験 山口内海水試調研業績, 6, 1954, 5—60.
- 10) BERKSON, J. "Application of the logistic function to bio-assay", *J. Amer. Stat. Assoc.* 39, 1944, 357—365.
- 11) BERKSON, J. "A statistical precise and relatively simple method of estimating the bio-assay with response, based on the logistic function", *J. Amer. Stat. Assoc.* 48, 1953, 565—599.
- 12) BLISS, C.I. "The statistics of bio-assay with special reference to the vitamins", Reprinted from *Vitamin Methods* Vol. 2, 1952, 448—628.
- 13) FINNEY, D.J. "Probit analysis", 2nd ed. 1952.