

[特別掲載]

(東女医大誌 第30巻 第9号)  
(頁1686—1708昭和35年9月)

# 滲透圧変化に対する生体の抵抗力に関する研究

韓国カトリック大学医学部生理学教室 (主任 鄭聖璋教授)

金 起 洙  
キン キョ シュ

(受付 昭和35年7月12日)

## 緒 言

多くの生細胞は、環境と浸透圧の平衡を保っている。淡水に生きる原生動物は例外である。アメーバ或はゾウリムシの原形質は生棲する淡水に較べて、高濃度の塩類を保有する<sup>1</sup>。水の浸透による過剰の膨脹は、細胞外に継続的に水を押し出す収縮胞<sup>2) 3)</sup>の作用により防止される。

生体に対して寒冷、暑熱、外傷、疲労、酸素不足、放射線、感染、麻酔等はストレーサーとして作用して、生体内にストレスを惹起し、各種の共通した反応を出現させる。これらを Selye<sup>4)</sup>は汎適応症候群として指摘した。一般的にストレーサーにより生体に惹起される各種反応の出現率は、ストレーサーの強度と作用時間により、また同時に生体個体の感受性如何により著しく変動する<sup>5)</sup>。反応出現率とこれら三者の間の普遍的な数学的關係を近似値的に現わす式<sup>6) 7) 8) 9)</sup>が鄭により樹立された。

鄭は加速度に対するマウスの抵抗<sup>6)</sup>、化学的<sup>7)</sup>ならびに温熱的<sup>8)</sup>ストレーサーに対するゾウリムシの抵抗力の研究<sup>9)</sup>等からストレーサーの強度、作用時間、反応出現率の間の關係に対して、近似値的に適用し得る次の如き一般式を作った。

$$P = \frac{10}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^p \frac{e^{-\frac{(p-50)^2}{200}}}{200} d p \dots\dots (1a)$$

$$p = \frac{(i-a)t-c}{bt+d} \dots\dots (1b)$$

- P : 反応出現率 (%)
- P : 反応出現に対する “probacent” (鄭の probability per cent の略語) 相対的有効ストレーサー量 (%)
- i : ストレーサーの強度
- t : 作用時間
- a, b, c, d : ストレーサーの種類, 強度, 及び

作用時間の単位、動物、反応等の種類により決定される常数。

著者は水棲原生動物と淡水魚を使用して各種濃度の諸塩類ならびにブドウ糖溶液による浸透圧がストレーサーとして加えられる場合の生体の抵抗力を測定し、反応出現率をストレーサーの強度と作用時間の函数として表わし得るや否やを検索し、かつ温度がこの抵抗力に及ぼす影響を追究して誘導される数式を浸透圧に関する Van't Hoff<sup>10) 11)</sup>の法則と Arrhenius<sup>10)</sup>の化学反応速度論と比較検討した。

## I. 浸透圧変化に対する paramecium caudatum の抵抗力に就いて

### 1. 室温 20°C に於ける NaCl 溶液に対するゾウリムシの抵抗力

#### A. 実験方法

ゾウリムシ (paramecium caudatum) を実験材料として使用した。薬 4 gm を 1000 cc の再蒸溜水中に投じ 20分間煮沸し、褐色の液を濾過して薬の浸出液を作った。燐酸緩衝剤を添加して pH7.2 にした薬浸出液をゾウリムシの培養液に用いた。培養後72時間を経過したゾウリムシ浮遊液を実験に供し、鏡検によりゾウリムシの繊毛運動と位置移動の停止を以て、NaCl溶液の浸透圧変化に対するゾウリムシの抵抗力限界の基準とした。20%より0.2%に至る各種濃度の NaCl 溶液を作り 3 cc のゾウリムシ浮遊液の入った試験管に上記各種濃度の NaCl 溶液をピペットでゾウリムシ浮遊液と同一容積 3 cc を混入する。斯くしてゾウリムシ浮遊液と NaCl 溶液との濃度は 10% より 0.1% に半減される。これらの各種濃度の浸透圧によるゾウリムシの時間的变化、すなわち運動停止動物の出現率を時間を逐つて鏡検した。

まず各々 3 cc ずつのゾウリムシ浮遊液を各種濃度の NaCl 溶液の等量に混入せる試験管を軽く振盪して、均

Ki Soo KIM (Department of Physiology, Faculty of Medicine, Catholic University, Republic of Korea) : Studies on the tolerance of living organisms to changes of osmotic pressure.

等なゾウリムシ懸濁液を作ると同時に、スポイドで載物硝子上に、これを一滴落し、視野内にみられる動物数の総数と纖毛運動ないしは位置移動停止動物数を鏡検により計算した。

各種濃度の NaCl 溶液にゾウリムシ浮遊液を混入して、時間を逐つて、ゾウリムシの運動を観察し、ゾウリムシ全体 (100%) が運動を続ける最長時間と、運動を 100% 停止する最少時間を測定した。100% の運動停止後もゾウリムシの運動が再び起るや否やの適応現象の有無を観察し、更に適応現象の完全に起らなくなる時間の限界、すなわち高濃度に一度適応はしたものの、継続的に加わるストレスによる浸透乃至は喰胞を通じて摂取される NaCl の中毒現象——化学的ストレスとみられる。——を観察するために、24時間続けて鏡検した。室温は  $20^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$  であった。

### B. 実験成績

実験成績は第 1 及び第 2 表に示し、これを対数グラフ上に示したのが第 1 図である。10% ないし 2.1% に至る NaCl 溶液においては浸透圧によるゾウリムシの 100% の運動停止をみた。60 分間の鏡検において、蘇生はみられなかった。2% ないし 1.5% NaCl 溶液では、浸透圧変化により 60 秒以内に 100% の運動停止をみるが、30 分以内に適応現象が起り、運動停止中のゾウリムシの一部が蘇生して、位置移動ないしは纖毛運動を始めた。然るに、蘇生したゾウリムシの喰胞を通じて、体内に摂取された NaCl による二次的な化学的ストレスにより、2 時間 30 分において 100% が運動を停止した。1.4% と 1.3% の NaCl 溶液では、浸透圧変化による 100% の運動停止はみられず、時と共に運動を停止するゾウリムシの数の増加をみるが、一部では既に適応現象を起し、二次的な NaCl による化学的ストレスによつて、5 時間 2 分 2 秒において、始めて 100% の運動停止をみた。1% と 0.9% の NaCl 溶液でも浸透圧変化による 100% の運動停止はみられず、ゾウリムシ全体 (100%) が 28 分以内に適応現象を現わして、蘇生し、纖毛運動を続ける。完全に 100% 蘇生したゾウリムシは、その後二次的な NaCl による化学的ストレスにより、20 時間以内に 100% の運動停止を来した。0.8% 乃至 0.4% の NaCl 溶液においても、浸透圧変化による 100% の運動停止をみず 20 分以内において、適応による 100% の蘇生をみた。然し二次的な化学的ストレスによる運動停止は、部分的にみられるだけで 100% の運動停止は 24 時間迄の鏡検ではみられなかった。0.3% 乃至 0.1% の NaCl 溶液では、始めから、活発な纖毛運動を続け、24 時間迄の観察において、運動停止動物は全然みられなかった。

2.1% 以上の NaCl 溶液では浸透圧変化のみによる運動停止をみるが、2% ~ 0.4% の濃度では浸透圧変化による運動停止と、時の経過と共に適応現象による蘇生を

みるが、その後喰胞を通じて摂取された NaCl による二次的な化学的ストレスによつて運動停止をみた。0.3% 以下の濃度に於ては、浸透圧変化乃至は化学的ストレスによる運動停止は起らずに、始めから適応現象が現われる。NaCl 溶液の濃度が濃ければ濃い程、浸透圧変化による運動停止時間が短縮され 1.4% 乃至 0.4% NaCl 溶液に於ても、濃度が濃い程、適応現象の現われる時間が長くなる。しかも二次的な化学的ストレスによる運動停止時間が短縮されるのをみた。

### C. 考察

使用したゾウリムシの培養液の氷点降下度を実測して  $\Delta f.p = 0.03^{\circ} \text{C}$  の結果を得た。これより培養液の滲透圧的濃度は 0.016 osmole/l であることを知った。比較的低い値を示している。

ゾウリムシは淡水生活に、適応せる動物である。Kamada<sup>2)</sup> は収縮胞の反応から、ゾウリムシの細胞質の浸透圧濃度は 0.025 M NaCl (0.146%) であると推論し、また 4% の海水 (0.024 M = 0.14% NaCl 相当) において、酸素消費が最少であると報告した。本実験では常に一定な方法で、すなわち 1000 cc の再蒸溜水に 4 gm の薬を入れて煮沸した後に、一定量の磷酸緩衝剤を入れ、pH を調整して作ったゾウリムシ培養液であるが故に、その浸透圧濃度は常に一定であるのみならず、比較的低い値をもつものと考えられる。塩類あるいはブドウ糖を、この培養液に添加すれば、これらとの和が浸透圧の濃度になる筈であるけれども、二次的に加えられる溶質の量が浸透圧的にみて多い為、これらによる培養液の浸透圧変化を主として、研究の対象にした。

本実験では、ゾウリムシを、高張 NaCl 溶液に移すと、止細胞体は脱水と共に、偏平縮少し、遂には、纖毛運動の停をみる。2% 以下の NaCl 溶液では、一旦上述の現象が起つた後、ゾウリムシは、正常の形態を回復し、再び運動を始めるのがみられた。すなわち適応現象<sup>12), 13)</sup> をみる。外部溶液の塩類濃度が増加するにつれて、収縮細胞の排泄量が減少し、収縮の間隔が延長する<sup>3 ~ 16)</sup>。外部の高張溶液の浸透圧作用による細胞膜と収縮胞を通じて起る脱水速度及び口、喰胞を通じて起る NaCl 摂取速度とが、均衡を保ち得る濃度 (2%) 以下では、適応が起り得ると考えられる。

戸谷<sup>17)</sup> は、末梢神経の興奮性に対して、水の含量が生理的に重要な意義を有すると述べ、生体の興奮性成立に、絶対不可欠な水分は、約 20 ~ 36.5% であると報告した。ゾウリムシにおいても、脱水が進めば、形態の変化と共に、纖毛運動の停止をみた。

2% ないし 0.8% の NaCl 溶液では、24 時間の観察において、適応現象が現われた後に、二次的に再び運動停止をみるが、これは摂取された NaCl による化学的ストレスによつて起る現象と推論される。運動停止反応出現

第1表 室温 20°C に於ける適応不能濃度の NaCl 溶液に対するゾウリムシの抵抗力

濃度 % (mole/l)	作用時間 sec	動物例数	運動停止例数	運動停止 百分率	理論的運動停止 反応出現率: P	理論的 "probacent": P
10 (1.7)	6	665	665	100.0	98.3	71.08
	10	701	701	100.0	100.0	126.26
	15	721	721	100.0	100.0	190.21
	3600	318	318	100.0	100.0	165.99
5 (0.9)	10	199	164	82.4	58.1	52.07
	15	241	237	98.3	99.9	83.43
	20	241	241	100.0	100.0	112.35
3 (0.5)	10	754	0	0	0.3	22.30
	15	124	65	52.4	40.72	40.72
	20	148	122	82.4	77.8	57.61
	30	4591	4562	99.4	99.9	87.75
	40	148	148	100.0	100.0	113.84
	3600	418	418	100.0	100.0	461.64
2.5 (0.42)	10	236	0	0	0.2	14.98
	15	236	3	1.3	2.6	30.04
	25	236	224	94.9	75.1	56.78
	30	196	195	99.1	97.0	68.70
	40	236	236	100.0	99.9	90.15
	3600	224	224	100.0	100.0	376.05
2.3 (0.39)	10	152	0	0	0.006	11.67
	15	42	1	2.4	0.7	25.77
	20	44	10	22.7	12.6	38.45
	30	66	64	97.0	86.9	61.08
	40	152	151	99.3	99.9	80.67
	60	152	152	100.0	100.0	112.89
	3600	163	163	100.0	100.0	341.81
2.2 (0.38)	10	360	0	0	0.003	10.23
	15	360	2	0.6	0.5	23.63
	18	158	3	1.3	2.1	31.00
	24	130	74	56.9	30.0	44.73
	30	360	318	88.3	76.9	57.27
	40	360	359	99.7	99.6	75.93
	50	328	328	100.0	99.9	92.25
	3600	189	189	100.0	100.0	324.69
2.1 (0.36)	10	2035	0	0	0.002	9.05
	14	1328	17	1.3	0.1	19.09
	40	326	320	98.2	98.3	71.2
	45	437	437	100.0	99.9	79.20

率を表わす0%及び100%の濃度1時間曲線を、対数グラフ上にプロットすれば、第1図の如くなる。実験成績から、20°Cの室温におけるNaCl溶液に対するゾウリムシの抵抗力を、近似値的に表わす次の如き式(2)を誘導した。この式は、ゾウリムシの繊毛運動停止の反応出現率

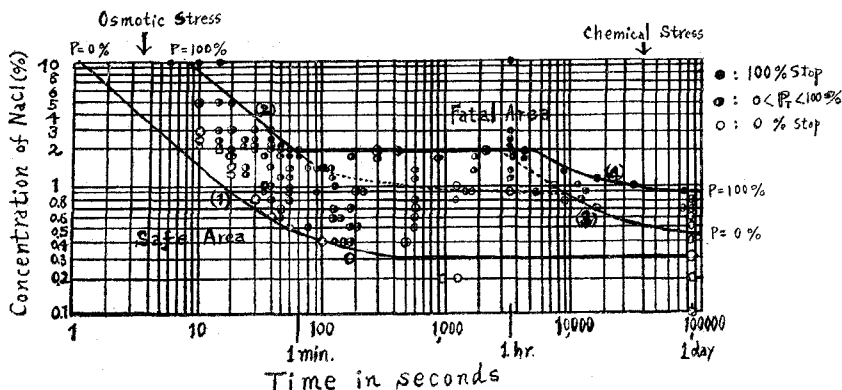
を、NaCl溶液の濃度と作用時間の函数として、近似的に表わす数式である。この式は、適応の現われない2.1%以上の濃度に適用される。この式により予測される運動停止反応出現率の理論値と実測値は、第1表に示す如く、近似値的に一致する。

第2表 室温 20°Cにおける適応可能濃度の NaCl 溶液に対するゾウリムシの抵抗力

濃度 %(mole/l)	作用時間 sec	動物例数	運動停止 例数	運動停止 百分率(%)	備考; 浸透圧変化による理論的 運動停止反応出現率: P
2 (0.34)	15	394	0	0	P = 0.1
	20	317	4	1.1	" 2.5
	30	169	36	21.3	" 48.4
	40	169	143	84.6	" 95.0
	50	169	161	95.3	" 99.9
	60	169	169	100.0	" 100.0
	70	246	246	100.0	" 100.0
	300	47	46	97.9	" 100.0, 適応蘇生し始む
	420	47	45	95.7	
	2100	207	185	89.9	
	3960	102	99	97.1	
4500	186	186	100.0	再び 100%運動停止す	
1.9 (0.32)	20	344	0	0	P = 1.3
	22	210	4	1.9	" 3.4
	35	121	118	97.5	
	50	62	61	98.4	" 99.5
	60	344	344	100.0	" 99.9
	70	649	649	100.0	" 100.0
	180	12	11	91.7	蘇生し始む。P = 100
	300	15	12	80.0	" "
	900	19	4	21.1	
	1800	28	22	78.6	
	3900	131	127	96.2	再び 100%運動停止す
4500	143	143	100.0		
1.5 (0.26)	20	205	0	0	P = 0.04
	25	205	2	1.0	" 0.5
	40	167	53	31.7	" 23.5
	60	205	182	88.3	" 89.9
	80	130	128	98.5	" 99.7
	90	168	164	99.4	" 99.9
	100	130	130	100.0	" 100.0
	110	38	35	92.1	蘇生し始む
	600	44	29	65.9	
	1800	45	40	88.9	
	3600	348	341	98.0	
9000	863	863	100.0	再び 100%運動停止す	
1.4 (0.24)	20	180	0	0	P = 0.015
	25	362	4	1.1	" 0.1
	60	180	178	98.9	
	70	46	43	93.4	蘇生し始む
	600	40	30	75.0	P = 100
	1500	150	30	20.0	
	3000	93	71	76.3	
	9000	348	348	100.0	再び 100%運動停止す
1.3 (0.22)	20	118	0	0	P = 0.005

	25	118	1	0.8	” 0.06
	50	46	43	93.5	
	60	118	116	98.3	
	115	118	114	96.0	蘇生し始む, P = 99.9
	600	117	9	7.7	” 100.0
	3600	192	181	94.3	
	19320	1496	1496	100.0	再び 100%運動停止す
1.0 (0.17)	35	128	0	0	
	40	58	5	8.6	
	60	41	33	80.5	
	120	54	16	29.6	蘇生し始む
	1200	135	0	0	100%蘇生す
	7200	441	0	0	
	10800	366	305	83.3	
	72000	453	453	100.0	再び 100%運動停止す
0.9 (0.15)	35	144	0	0	P = 0.005
	60	156	0	0	” 0.7
	90	261	223	85.4	” 10.7
	200	148	142	95.3	
	210	198	187	94.4	蘇生し始む
	1500	51	3	5.9	
	1680	501	0	0	100%蘇生す
	3600	156	0	0	
	13200	233	171	73.4	
	72000	273	273	100.0	再び 100%運動停止す
0.8 (0.14)	30	118	0	0	P = 0
	40	118	1	0.8	” 0.003
	60	133	116	87.2	
	600	89	3	3.4	
	1200	660	0	0	100%蘇生す
	9000	896	0	0	
	10800	763	42	5.5	
	86400	772	762	98.7	
0.7 (0.12)	50	128	0	0	P = 0.002
	53	148	1	0.6	
	120	148	137	92.6	
	180	148	118	79.7	蘇生し始む
	600	136	0	0	100%蘇生す
	18000	489	0	0	
	72000	1125	987	87.7	
	86400	370	346	93.5	
0.6 (0.1)	40	178	0	0	P = 0
	50	178	1	0.5	
	120	178	157	88.2	
	140	164	126	76.8	蘇生し始む
	600	136	0	0	100%, 蘇生す
	86400	531	0	0	
0.5 (0.08)	60	507	0	0	P = 0
	80	250	1	0.4	

	180	171	142	83.0	
	200	163	121	74.2	蘇生し始む
	600	264	0	0	100%蘇生す
	86400	303	0	0	
0.4 (0.068)	100	276	0	0	P = 0
	120	201	1	0.5	
	150	201	9	4.5	
	180	223	8	3.6	蘇生し始む
	500	168	0	0	100%蘇生す
	86400	2529	0	0	
0.3 (0.051)	180	279	0	0	P = 0
	86400	2758	0	0	
0.2 (0.034)	960	470	0	0	P = 0 細胞容積減少す
	1200	483	0	0	" " 細胞容積恢復す
	86400	2184	0	0	
0.1 (0.017)	86000	683	0	0	P = 0



第1図 室温 20°C に於ける NaCl 溶液に対するゾウリムシの抵抗力、  
 縦軸：NaCl の濃度(%), 横軸：作用時間 (秒単位)。2.1% 以上では適応  
 が起らず 2% 以下に於いて起る。(1)(2) 曲線は滲透圧的ストレスに対する抵  
 抗力限界を示し (3)(4) 曲線は NaCl の二的な化学的ストレスに対する抵抗  
 力の限界を示す。

$$P = \frac{10}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^p \frac{(p-50)^2}{200} \cdot d p \dots\dots (2 a)$$

$$P = \frac{(c-0.3) t - 11.9}{0.00567 t + 0.6173} \dots\dots (2 b)$$

- P : 高張 NaCl 溶液に対する運動停止の反応出現率 (%)
- p : 運動停止反応の “proba cent”
- c : NaCl 溶液の濃度 (%)
- t : 作用時間 (秒単位)

濃度を一定にして、作用時間を変えると、P 曲線は S 字形となる。(26)式中の常数 0.3 は、NaCl 溶液に於ける閾値濃度を示し、観察期間中、始めから全然運動停止が起らない濃度である。

一般的に薬物用量等の動物に対する致死率を観察すると、S 字形の累積度数分布を示し、Gauss の確率理論が適用される。若し平均値を M とし、標準偏差を σ とすれば、M ± 5σ 以内に、殆んど、100% の動物が反応を生ずると見做し、Gaddum<sup>18)</sup> は σ を単位とした Normal Equivalent Deviation (N.E.D.) なる単位を作った。Bliss<sup>8) 21)</sup> は負の符号をなくすため、N.E.D. + 5 の単位、即ち probit 単位を作った。鄭<sup>6)~9)</sup> は生物反応出現率を百分率で表現するのが便利であると考えて、probit の場に相当する単位を以て、(1 a) 式で表現される量を “proba cent” 単位として提唱した。鄭によれば “proba cent” は、ストレスの強度と作用時間の 函数として表わし、またストレスの反応誘発に有効な量を、反応

出現率0%と100%を基準にして、すなわち $M-5\sigma$ を0とし、 $M+5\sigma$ のストレサー量を、100として表わしている。さらに Gauss の確率曲線を、この probacent について積分し、実際に生じ得る反応出現率Pを求める。(1b式)。

本実験(1)の成績では、適応不能な濃度の NaCl 溶液において(2式)は近似値的に適用される。しかし2%以下の適応可能な濃度に於ては、 $P=0\%$ の安全限界は適用されるが、一般的に、 $0 > P$ の領域では、理論値が実測値より小さく、適応が生ずれば、逆に理論値が、実測値より大きくなる。これは適応現象が現われることと、また一般的に電解質は稀薄溶液に於ては、電離が増加すること等により、一部説明され得る。浸透圧に関する Van't Hoff の法則<sup>10)</sup>(3式)は、有機化合物の如き非電解質で、しかも濃度が余り大きくない場合に限り適用される。(凡そ0.2 mole 以下)。

$$\pi = CRT \dots\dots\dots(3)$$

- $\pi$ : 浸透圧
- C: 濃度
- R: 気体恒数
- T: 絶対温度

電解質溶液においては、(4)式が適用される。

$$\pi = i CRT \dots\dots\dots(4)$$

この式中の  $i$  (Van't Hoff の係数)は、濃度が稀薄になるにつれて、少し増大する。すなわち NaCl 溶液の場合には2の値に、漸次接近する。若し NaCl 溶液の濃度を osmole 濃度で表わすならば、適応可能な2%以下の濃度では、理論値と実測値が、もつと近似値的になるものと推論する。適応可能な濃度範囲に於ては(2b)式により $P=0\%$ の安全境界と閾値濃度が示される。(第1図の曲線(1)で示した。)2%以下の濃度で、適応後再び運動の停止をみるが、この実験成績から、次の(5)式が誘導される。

$$P = \frac{(c-0.4)t-4320}{0.00426t+20.2} \dots\dots\dots(5)$$

1%以下では、 $P=0\%$ の曲線(3)と $P=100\%$ の曲線

(4)との間において、再びゾウリムシの運動停止がみられる。

2. 室温30°Cに於ける NaCl 溶液に対するゾウリムシの抵抗力

30°C±1°Cの恒温室に於て、前述の実験1. と全く同一の方法で実験を行った。最長鏡検時間は6時間であった。

B. 実験成績

第3及4表と第2図に示す如く、5%ないし2%の NaCl 溶液では、浸透圧変化によるゾウリムシの100%の運動停止をみた。6時間の鏡検において、蘇生はみられなかった。1%ないし0.6%の NaCl 溶液では、浸透圧変化により、38秒以内に100%の運動停止をみるが、118秒以内に適応現象が現われ始めて、一部蘇生して運動を続けるが505秒までには、ゾウリムシ全体(100%)が蘇生して、繊毛運動を続けた。その後、ゾウリムシの嚙胞を通じて、体内に摂取された NaCl による二次的な化学的ストレスのために、再び2時間以内に100%の運動停止をみた。0.4%の NaCl 溶液では、浸透圧変化による100%の運動停止をみない中に、適応現象が現われ、遂に100%蘇生して、活潑な繊毛運動をした。6時間の鏡検において、二次的な化学的ストレスによる運動停止は全然みられなかった。0.2%の NaCl 溶液では、浸透圧ないしは化学的ストレスによる運動停止はみず活潑な繊毛運動をみた。

室温20°Cに於ける実験成績に較べて、10°C高い30°Cの室温では、同じ濃度の NaCl 溶液でも、浸透圧変化によるゾウリムシの位置移動ないしは繊毛運動の停止が、より短時間内にみられた。ただ適応現象の現われる時間が長くなること分る。実験1. の室温20°Cの場合と異なり、30°C高温下の浸透圧変化は、ゾウリムシの運動を、より速かに停止し、低い濃度においても、運動停止をみた。すなわち0.2%に至り、始めて運動停止なしに、始めから6時間の鏡検に於て、活潑な繊毛運動をみた。

第3表 室温30°Cに於ける適応不能濃度の NaCl 溶液に対するゾウリムシの抵抗力

濃度 %	作用時間 sec	動物例数	動物停止例数	運動停止百分率	理論的運動停止反応出現率: P	理論的 "probacent" P
5	3	73	73	100	96.8	68.57
3	4	144	30	20.9	28.9	44.44
	6	744	744	100	100	81.63
2	6	112	41	36.6	40.5	47.61
	8	812	812	100	93.1	64.86
	600	649	649	100	100	1636.53

第4表 室温 30°C に於ける適応可能濃度の NaCl 溶液に対するゾウリムシの抵抗力

濃度 %	作用時間 sec	動物例数	運動停止例数	運動停止反応出現百分率	備考; 浸透圧変化による理論的運動停止反応出現率: P
1	10	128	0	0	P = 0.2
	12	128	4	3.1	" 3.5
	20	128	98	76.7	" 97.7
	30	128	127	99.2	" 100.0
	34	128	124	96.9	蘇生し始む, P = 100.0
	75	128	8	6.3	" "
	117	828	0	0	100%蘇生す, " "
	1200	144	24	16.7	
	2400	729	729	100.0	再び 100%運動停止す
	21600	477	477	100.0	
0.8	10	84	0	0	P = 0
	15	84	6	7.1	" 1.5
	30	84	84	100.0	" 99.9
	120	120	16	13.3	" 100.0, 蘇生し始む
	180	138	18	13.0	
	240	460	0	0	" 100.0, 100%蘇生す
	3000	146	146	100.0	再び 100%運動停止す
	21600	171	171	100.0	" "
0.6	10	63	0	0	P = 0
	23	63	14	22.2	
	30	63	42	66.7	
	38	63	63	100.0	
	118	96	90	93.8	
	240	72	36	50.0	P = 100
	505	168	0	0	" = 100, 100%蘇生す
	2400	168	0	0	
	3000	136	32	23.5	再び運動停止が始まる
	7200	186	186	100.0	再び 100%運動停止す
21600	187	187	100.0		
0.4	30	548	0	0	P = 0
	46	167	2	1.2	P = 0.5
	360	201	117	58.2	
	420	268	56	20.9	P = 100, 蘇生し始む
	600	487	0	0	100%蘇生す
	3600	129	0	0	"
	21600	182	0	0	"

C. 考察

実験成績から、室温 30°C に於けるゾウリムシの高張 NaCl 溶液に対する抵抗力を近似値的に表わす次の如き (6)式を誘導した。

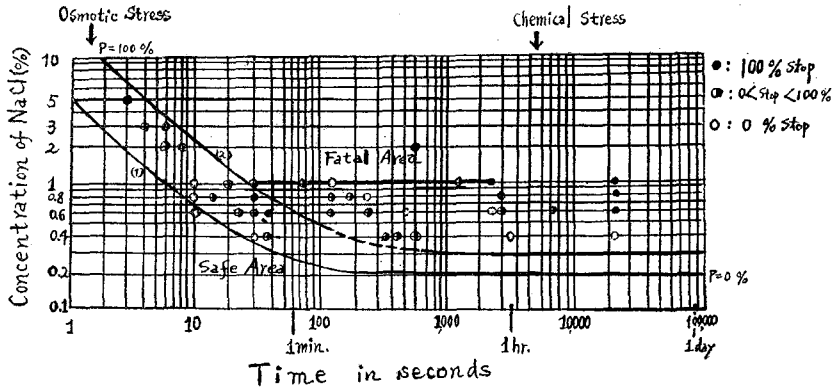
$$P = \frac{10}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^p \frac{e^{-\frac{(p-50)^2}{200}}}{e^{-\frac{(c-0.2)t-4.8}{0.00086t+0.141}}} \cdot dP \dots\dots\dots (6 a)$$

$$p = \frac{(c-0.2)t-4.8}{0.00086t+0.141} \dots\dots\dots (6 b)$$

} ... (6)

各記号の意味は(5)式におけると同様である。20°C 室温に較べて 30°C の室温では、同一の NaCl 濃度にも、繊毛運動停止の起る時間が、明かに短縮され、凡そ、 $\frac{1}{2}$  に短縮されているのをみ得る。同時に閾値濃度が 0.3% より 0.2% に低下し、適応限界濃度が、2% より 1% に下降している。(第3図参照)。すなわち、浸透圧的ストレサーが、温度上昇につれて、増大することが分る。ゾウリムシの収縮胞の律動は、温度に著しく影響され、温





第2図 室温 30°C に於ける NaCl 溶液に対するゾウリムシの抵抗力  
 縦軸：NaCl の濃度(%), 横軸：作用時間 (秒単位)  
 1%以下の濃度では適応が起るが二次的の化学的ストレスが  
 加えられるため再び運動停止が起り得る。0.2%では始めか  
 ら限界濃度として運動停止が起らない。

度の上昇につれて、搏動の間隔が減少するとされている  
 19)。

Arrhenius の式<sup>10)</sup>から、誘導される化学反応速度論、  
 すなわち 10°C の温度の上昇につれて、反応速度が、2  
 ないし 3 倍になるという理論と、この実験成績とを比較  
 検討した。10°C の温度上昇に依り、反応速度が何倍に  
 なるかを  $Q_{10}$  で表わし、同じ反応出現率を示す条件で以  
 て、 $0 \leq P \leq 100$  の範囲を比較すると(2 b)と(6 b)の  
 式から、 $Q_{10}$  の値が算出される。

$$Q_{10} = \frac{K_{30}}{K_{20}} = \frac{t_{20}}{t_{30}} = \frac{(11.9 + P \times 0.6173)}{(4.8 + P \times 0.141)} \times \frac{(c - 0.2 - P \times 0.00086)}{(c - 0.3 - P \times 0.00567)} \dots\dots(7)$$

但し、 $K_{30}$ 、 $K_{20}$ は30°C、20°Cに於ける  
 反応速度である。

適応の起らない2.1%以上の濃度に於て、比較すると

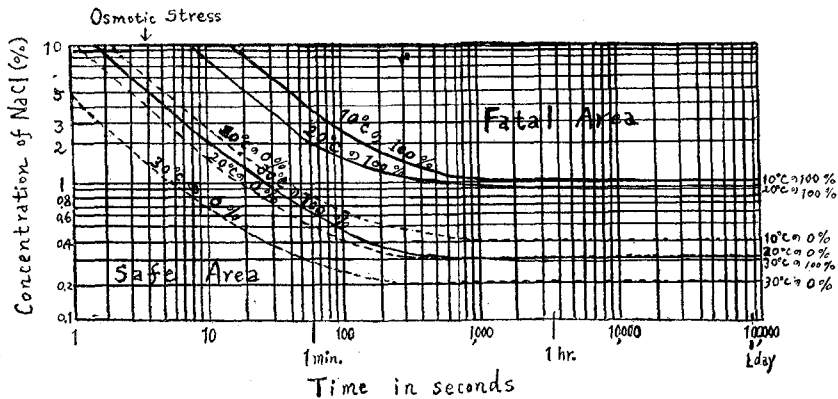
$$Q_{10} > 2.4 \sim 3.8 \dots\dots(8) \text{となる。}$$

従つて、室温が20°C から30°C に上昇するにつれて、  
 2.4 ないし 3.8 倍の反応速度の増加がみられる。Van't  
 Hoff の法則(3)式では、絶対温度の上昇により、滲透圧  
 の増加が示されているが20°C から30°C の上昇では、  
 1.1 倍程度の増加があるに過ぎない。従つて、細胞外の溶  
 液の温度上昇による浸透圧の増加よりも、細胞内の脱水  
 による化学的変化の促進が、(8)式に示されているが如  
 き、運動停止反応の促進を来したものと著者は考える。

1%以下の濃度でも、適応後に、NaCl による化学的ス  
 トレスにより、運動が再び停止する時間が、20°C の室  
 温に較べて早い。

### 3. 室温 10°C における NaCl 溶液に対するゾウリムシの抵抗力

#### A. 実験方法



第3図 各種濃度の NaCl 溶液に対するゾウリムシの抵抗力に及ぼす室温の影響  
 室温並びに溶液の温度 10°C の上昇につれて作用時間は約1/2に短縮する  
 安全及び致死限界濃度時間曲線の左方移動と限界閾値濃度の下降を見る。

平均10°C (9~11°C) の恒温室に於て、前述の1. と全く同一な方法で実験を行った。最長鏡検時間は5時間であつた。

B. 実験成績

実験成績は第5及び6表と第4図に示すように、5%ないし2%のNaCl溶液では、浸透圧変化により100%の運動停止をみるが、1%ないし0.8%のNaCl溶液に於ては、浸透圧による100%の運動停止をみずに、適応現象が現われ始めて、28分ないし37分以内に、ゾウリムシ全体(100%)が蘇生して、繊毛運動を続ける。その後、二次的な化学的ストレスにより、4時間以内に、再び運動停止動物が現われる。0.6%のNaCl溶液では浸透圧変化による100%の運動停止をみない中に、適応現象が起り始め、18分に至り、始めて完全に100%の、蘇生を来し、活発な繊毛運動をみた。0.4%以下のNaCl溶液では、浸透圧ないしは化学的ストレスによる運動停止を、始めから、みずに活発な繊毛運動を続けていた。実験1及び2と異り、この実験では、同じ濃度のNaCl溶液にも、浸透圧変化によるゾウリムシの位置移動ないしは繊毛運動停止に要する時間が、長くかかるとともに、高い濃度にも、運動の停止をみなかつた。すなわち0.4%のNaCl溶液において、始めて運動を停止することなく、活発な繊毛運動を始めから、観察期間中、続けるの

をみた。初期における、浸透圧に対するゾウリムシの抵抗力の限界濃度は20°Cの室温では、0.3%であるが、30°Cの室温では0.2%に低下し、10°Cの室温では0.4%に上昇した。

C. 考察

実験成績から、10°Cの室温に於ける、高張NaCl溶液に対するゾウリムシの抵抗力を表わす(9)式を誘導した。

$$P = \frac{10}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^p e^{-\frac{(p-50)^2}{200}} \cdot dp \dots (9a)$$

$$p = \frac{(c-0.4)t-23}{0.006t+1.37} \dots (9b)$$

但し、各記号の意味は(2)式に於けると同じである。

20°Cの室温に較べて、10°Cの室温では、同一のNaCl濃度に対して、ゾウリムシの運動停止の起る時間が、約2倍に延長し、また適応限界が、2%から1%に低下した。閾値濃度は0.3%から0.4%に上昇した。(等3図参照)

Q<sub>10</sub>を(2b)と(9b)式から算出すると、次の如くなる。

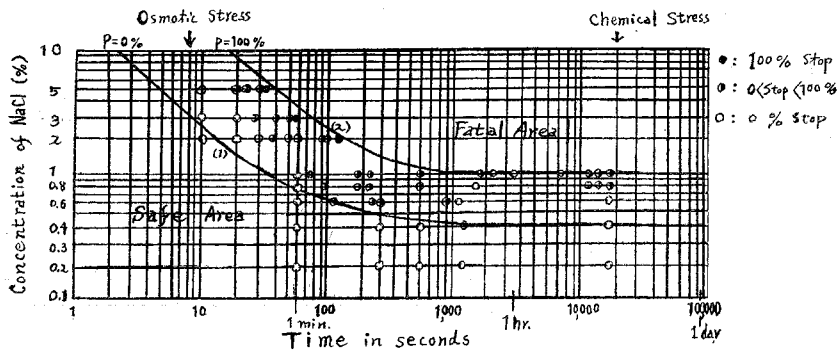
$$Q_{10} = \frac{K_{20}}{K_{10}} = \frac{t_{20}}{t_{10}} = \frac{(23+p \times 1.37)}{(11.9+p \times 0.6173)} \times \frac{(c-0.3-p \times 0.00567)}{(c-0.4-p \times 0.006)} \dots (10)$$

第5表 室温10°Cに於ける適応不能濃度のNaCl溶液に対するゾウリムシの抵抗力

濃度 %	作用時間 sec	動物例数	運動停止例数	運動停止百分率	理論的運動停止反応出現率; P	理論的 "probabent"; P
5	10	56	0	0	0.04	16.08
	20	56	15	26.8	35.5	46.30
	22	56	27	48.2	58.1	52.06
	30	56	54	96.4	99.2	74.19
	32	56	56	100	99.9	79.51
3	10	96	0	0	0	2.09
	20	96	0	0	0.11	19.46
	28	96	3	3.1	3.75	32.37
	40	96	48	50.0	51.25	50.31
	50	96	89	92.7	92.15	64.07
	57	96	96	100	98.98	73.17
2	10	93	0	0	0	-4.89
	20	93	0	0	0	6.04
	30	93	0	0	0.04	16.12
	39	93	1	1.1	0.6	24.56
	50	93	7	7.5	5.9	34.13
	60	93	18	19.4	21.4	42.19
	90	93	80	86.0	90.9	63.35
	100	93	88	94.6	97.5	69.54
	116	93	93	100	99.8	78.70

第6表 室温 10°C に於ける適応可能濃度の NaCl 溶液に対するゾウリムシの抵抗力

濃度 %	作用時間 sec	動物例数	運動停止 例数	運動停止 百分率	備考：滲透圧変化による理論的 運動停止反応出現率：P
1	60	228	0	0	P = 0
	74	105	1	0.95	" 0.005
	180	105	103	98.1	
	217	105	102	97.14	適応, 蘇生し始む
	600	105	29	27.6	
	1800	105	4	3.8	
	2200	105	0	0	100%蘇生を示す, P = 99.9
	3600	359	0	0	
	7200	441	0	0	
	10800	413	159	38.5	再び運動停止が起り始む
	14400	407	281	69.07	
	18000	366	305	83.33	
0.8	60	326	0	0	P = 0
	95	88	8	9.1	" 0.002
	180	104	94	90.4	
	210	78	70	89.7	適応, 蘇生を始む
	600	132	80	60.6	
	1680	146	0	0	100%蘇生を示す, P = 74.9
	10800	349	0	0	
	14400	382	8	2.1	再び運動停止が起り始む
	18000	275	24	8.7	
0.6	60	126	0	0	P = 0
	105	135	5	3.7	
	240	135	100	73.3	
	300	162	98	60.5	適応, 蘇生を始む
	900	116	14	12.1	
	1080	145	0	0	100%蘇生す
	18000	397	0	0	
0.4	60	349	0	0	P = 0
	300	422	0	0	"
	600	638	0	0	"
	1200	384	0	0	"
	18000	854	0	0	"
0.2	60	446	0	0	"
	300	636	0	0	"
	600	351	0	0	"
	1200	522	0	0	"
	18000	588	0	0	"



第4図 室温10°Cに於けるNaCl溶液に対するゾウリムシの抵抗力  
 縦軸：NaClの濃度(%)，横軸：作用時間(秒単位)，1%以下の濃度に於いて適応が起るがNaClの二次的な化学的ストレスにより再び運動停止が起り得る。0.4%では始めから限界濃度として運動停止が起らない。

0 ≤ P ≤ 100 に於て

$$Q_{10} = 1.93 \sim 2.17 \dots \dots \dots (11)$$

すなわち，室温が20°Cから10°Cに下降する時は，反応速度が，約1/2に減少する。これにより，温度の降下は，浸透圧的ストレスを，減弱せしめることが分る。10°Cの室温では1%以下の濃度においても，適応後に起る二次的な化学的ストレスにより，運動停止時間が20°Cの室温に較べて延長するのを見る。

4. 室温20°CにおけるKCl溶液に対するゾウリムシの抵抗力

A. 実験方法

実験1の場合と全く同一な方法で，各種濃度のKCl溶液を作つて実験を試みた。最長鏡検時間は24時間である。

B. 実験成績

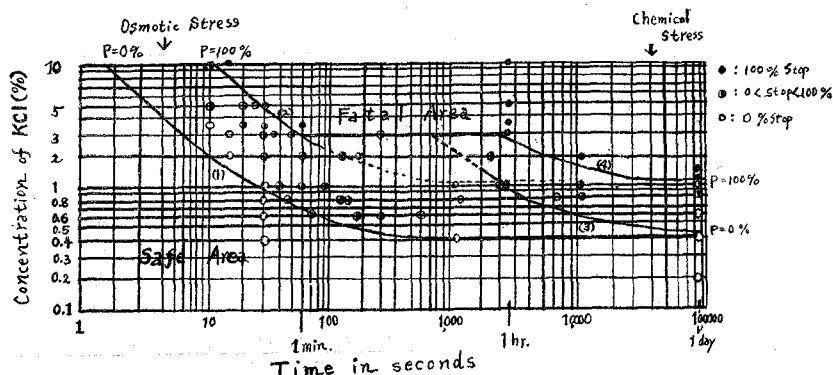
第7及び8表と第5図に示すように，10%ないし3.5%KCl溶液では，浸透圧変化による100%の運動停止をみるが，適応現象による蘇生は，60分間の鏡検において，全然みられなかつた。3%KCl溶液では，36秒に浸透圧変化による100%の運動停止をみるが，50秒からは，一部適応現象が起り，運動停止中の，ゾウリムシの一部が，蘇生して，繊毛運動を続ける。その後50分からは，再び100%の運動停止をみる。これは，ゾウリムシの唼胞を通じて摂取されたKClによる二次的な化学的ストレスにより起る現象である。2%のKCl溶液では，浸透圧による100%の運動停止をみないままに，適応現象が起り，一部蘇生して，運動をするが，2時間55分後には，KClの化学的ストレスのために100%の運動停止をみる。1%ないし0.6%のKCl溶液では，浸透圧変

第7表 室温20°Cに於ける適応不能濃度のKCl溶液に対するゾウリムシの抵抗力

濃度 % (mole/l)	作用時間 sec	動物例数	運動停止 例数	運動停止 百分率	理論的運動停止 反応出現率：P	理論的 “probabent” P
10 (1.34)	10	208	203	97.6	99.9	82.07
	15	637	637	100	100	125.86
	3600	986	986	100	100	1170.11
5 (0.67)	10	354	3	0.9	2.9	31.16
	20	354	289	81.6	98.7	70.33
	25	354	351	99.2	99.9	90.44
	30	354	354	100	100	107.44
	3600	864	864	100	100	560.40
3.5 (0.46)	10	127	0	0	0.03	15.88
	20	248	40	16.1	27.1	43.90
	30	83	83	100	96.4	68.01
	60	122	122	100	100	123.66
	3600	1624	1624	100	100	377.49

第8表 室温 20°Cに於ける適応可能濃度の KCl 溶液に対するゾウリムシの抵抗力

濃 度 % (mole/l)	作用時間 sec	動物例数	運動停止 例 数	運動停止 百分率	備考; 滲透圧による理論的運動停止反応出現率: P
3 (0.4)	15	194	0	0	P = 0.4
	30	147	108	73.46	" 68.5
	36	194	194	100	" 94.3
	50	138	120	87.0	蘇生始む, P = 100
	300	218	195	89.4	" = 100
	3600	1728	1728	100	
2 (0.27)	15	160	0	0	
	30	60	3	5.0	P = 0.003
	60	60	59	98.3	" 1.9
	120	60	59	98.3	" 80
	180	58	52	89.7	" 99.9
	2400	265	246	93.4	蘇生し始む, P = 100
	10500	415	415	100	
1.5 (0.2)	86400	522	522	100	
1.2 (0.16)	"	473	473	100	
1.0 (0.13)	30	331	0	0	
	40	103	11	10.7	P = 0
	60	132	125	94.7	
	90	163	140	85.9	
	1080	167	0	0	蘇生し始む
	3000	249	0	0	100%蘇生す
	3300	173	3	1.73	
	10800	522	251	48.1	
	86400	304	298	98.0	
0.8 (0.11)	30	198	0	0	
	48	130	4	3.1	P = 0
	120	161	142	88.2	
	143	161	121	75.2	
	1320	138	0	0	蘇生を始む
	7200	319	0	0	100%蘇生す
	10800	551	29	5.3	
	18000	284	194	68.3	
	86400	675	627	92.9	
0.6 (0.08)	30	185	0	0	P = 0
	70	155	1	0.6	
	180	56	43	76.8	
	300	192	56	28.7	蘇生を始む
	600	126	0	0	
	86400	1401	0	0	
0.4 (0.055)	30	232	0	0	P = 0
	1800	262	0	0	"
	86400	1315	0	0	"
0.2 (0.027)	86400	1171	0	0	"



第5図 室温20°Cに於けるKCl溶液に対するゾウリムシの抵抗力  
縦軸：KClの濃度(%), 横軸：作用時間(秒単位), 3%  
KCl濃度以下で適応が起り得るがKClの二次的な化学的ス  
トレスにより再び運動が停止得る。0.4%は限界濃度であ  
る。

化による100%の運動停止をみずに、5分後には、適応現象が現われ、10分からは、完全な100%の蘇生を来して、活発な繊毛運動をする。かくて20時間内に、二次的な化学的ストレスによる運動停止をみる。0.4%以下の濃度におけるKCl溶液では、ゾウリムシの運動停止をみずに、始めから活発な繊毛運動をみる。

### C. 考察

実験成績により、室温20°Cに於ける高張KCl溶液に対するゾウリムシの抵抗力を表わす(12)式を誘導した。

$$P = \frac{10}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^p e^{-d \cdot p^2} \dots \dots (12a)$$

$$p = \frac{(c - 0.4)t - 15.4}{0.00795t + 0.9025} \dots \dots (12b)$$

但し、各記号の意味は(2)式におけると同じである。cはKClの濃度(%)を表わす。

(12b)式に於て、KClの濃度を、パーセントの代りにmole濃度で表わし、変形すれば、(13)式を得る。同様に、(2b)式に於て、NaClの濃度をパーセントの代わりに、mole濃度で表わして、変形すると(14)式の如くなる。この(13)(14)式中の常数は、殆んど一致することが分る。

$$p = \frac{(c - 0.00536)t - 0.2064}{0.000106t + 0.0121} \dots \dots (\text{KCl}) \dots (13)$$

$$p = \frac{(c - 0.00513)t - 0.2034}{0.000097t + 0.0105} \dots \dots (\text{NaCl}) \dots (14)$$

但し、cはKCl或はNaClのmole/lで現わされる濃度を意味する。

(13)(14)式の常数の平均値を出して、(15)式を得る。

$$p = \frac{(c - 0.00525)t - 0.2049}{0.000102t + 0.0113} \dots \dots (15)$$

c : mole濃度

(15)式は、NaCl, KClの如き、1価アルカリ金属塩の水

溶液で、mole/l濃度で、表わされる場合のゾウリムシの抵抗力を表わすのに、一般的に使用し得ると考える。KClとNaClの水溶液に於けるVan't Hoffの係数は、凡そ2に近い値を示す。適応限界濃度はNaClでは2%, KClで3%あるが、mole濃度で現わせばNaClは0.342mole/l, KClは0.402mole/lで、殆んど一致する。両者の閾値限界濃度もmole/lで、殆んど一致する。これらの結果により(2), (6), (9), (12), 式は、共に塩類溶液の浸透圧的ストレスに対するゾウリムシの抵抗力を表わしていることを確め得た。

3% KCl以下の濃度では、適応現象が起るが、再び運動停止をみる。これは凡そ(16)式により、 $0 < p \leq 100$ の成立する範囲において起る。

$$p = \frac{(c - 0.4)t - 1920}{0.00735t + 36.75} \dots \dots (16)$$

NaClの(5)式とKClの(16)式を、各々mole濃度に変形して比較すると常数が明かに異なる。故にこれは浸透圧的ストレスよりも、これら塩類の二次的な化学的ストレスによる運動停止反応であることが推理し得うる。NaClの(5)式をmole濃度に変形すると(17)式を得る。同様に、KClの(16)式をmole濃度に変形して得たのが(18)式である。

$$p = \frac{(c - 0.00683)t - 75.555}{0.0000728t + 0.3453} \dots \dots (\text{NaCl}) \dots (17)$$

$$p = \frac{(c - 0.00536)t - 25.737}{0.000097t + 0.4926} \dots \dots (\text{KCl}) \dots (18)$$

## 5. 室温20°Cに於けるブドウ糖溶液に対するゾウリムシの抵抗力

### A. 実験方法

実験1. の場合と全く同一な方法で、各種濃度のブドウ糖溶液を作り、実験を試みた。最長鏡検時間は、120時間であつた。

### B. 実験成績

第9及び10表とこれを対数グラフ上に示した第6図に明かな如く18%ないし7%のブドウ糖溶液の浸透圧変化により、ゾウリムシは、完全に100%の運動停止をみるが、適応現象による蘇生は24時間の鏡検に於て、みられなかつた。6%のブドウ糖溶液では、浸透圧変化による100%の運動停止をみるが、125秒には適応現象が起り、一部蘇生するが、3000秒までには、二次的な化学的ストレスのために、100%の運動停止をみた。4.5%ないし4%のブドウ糖溶液では、浸透圧変化による100%の運動停止をみずに90~240秒には、適応現象が起り、極く一部のゾウリムシが蘇生する。然るに、その後、二次的なブドウ糖の化学的ストレスにより、72時間までには、100%の運動停止をみた。3%のブドウ糖溶液でも、やはり、浸透圧変化による100%の運動停止をみずに

但し、各記号の意味は(2式)に於けると同じである。cはブドウ糖の濃度(%)を表わす。  
(14)式に於て、NaClのVan't Hoff係数を2と見做し、osmole濃度で表わして、変形したのが、(20)式である。  
(19)式に於て、ブドウ糖の濃度をosmole濃度で(Van't Hoff係数を1として)表わせば(21)式の如くなる。

$$p = \frac{(c - 0.01026)t - 0.4128}{0.000194t + 0.021} \dots\dots (\text{NaCl}) \dots\dots (20)$$

$$p = \frac{(c - 0.00944)t - 0.3622}{0.0000761t + 0.00965} \dots\dots (\text{ブドウ糖}) \dots\dots (21)$$

但し、c: 溶質の濃度 (osmole/l)

(20), (21)式で(1b)式中の常数a, cに相当する項が、殆んど等しい値をもつ。これはp=0%の安全限界が、両者の溶液に於て、殆んど等しいことを示す。(1b)式

第9表 室温 20°Cに於ける適応不能度のブドウ糖溶液に対するゾウリムシの抵抗力

濃度 % (mole/l)	作用時間 sec	動物例数	運動停止 例数	運動停止 百分率	理論的運動停止 反応出現率: P	理論的 "probacent"
18 (1)	12	423	416	98.3	96.8	68.58
	14	372	372	100	99.9	84.50
9 (0.5)	10	418	0	0	0	4.16
	16	58	1	1.7	0.9	26.37
	23	73	36	49.3	50.1	50.04
	30	278	277	99.6	98.5	71.60
	36	418	418	100	100	88.6
	60	192	192	100	100	145.68
	600	97	97	100	100	433.34
	86.400	768	768	100	100	532.01
7 (0.39)	20	163	0	0	0.15	20.28
	25	72	1	1.4	3.7	32.36
	38	212	212	100	85.0	60.32
	60	693	693	100	100	98.78
	3600	347	330	100	100	372.42

240秒には、適応現象が現われ始め、48時間までには、100%の蘇生を来し、120時間の鏡検中、活発な繊毛運動をみた。2%以下のブドウ糖溶液では、浸透圧変化ないしは二次的な化学的ストレスによる運動停止を、120時間の鏡検に於てみず、始めから活発な繊毛運動をした。

C. 考察

実験成績から、室温20°Cに於ける高張ブドウ糖溶液に対するゾウリムシの抵抗力を表わす(19)式を誘導した。

$$P = \frac{10}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^p e^{-\frac{(p-50)^2}{200}} \cdot dP \dots\dots (19a)$$

$$P = \frac{(c-1.7)t - 65.2}{0.0137t + 1.737} \dots\dots (19b)$$

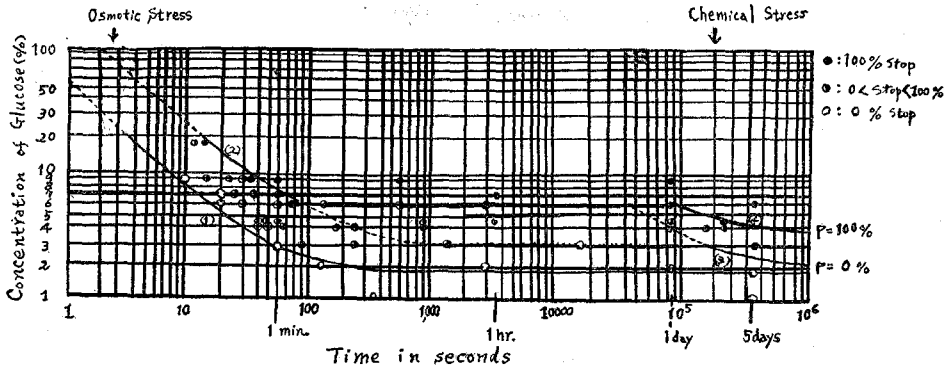
中の常数b, dに相当する項は、NaClに較べて、ブドウ糖の方が、約1/2の値を表わす。以上により、NaCl或はブドウ糖の溶液に於て、濃度による浸透圧的ストレスが、ゾウリムシに作用する時は、これら溶質自体の浸透圧に対する作用以外に、他の要因の存在が考えられる。これは、同一の浸透圧的濃度(同一の氷点降下度を示す濃度)に於て、ゾウリムシの収縮胞の搏動数が、リンゲル液、CaCl<sub>2</sub>液、ブドウ糖液では、差異のあることはEisenberg<sup>1)</sup> 20)は指摘したが、この事実と相合致すると思う。

6%以下のブドウ糖液では、初期の浸透圧的ストレスに適応するが、再び運動が停止する。この二次的な、運動停止は、(22)式で表わされる。0 < p ≤ 100の範囲内で

第 10 表 室温 20°C に於ける適応可能濃度のブドウ糖溶液に対するゾウリムシの抵抗力

濃 度 % (mole/l)	作用時間 sec	動物例数	運動停止 例 数	運動停止 百 分 率	備考； 滲透圧変化による理論的 運動停止反応出現率：P
6 (0.33)	20	130	0		P = 0
	30	138	1	0.7	" 2.4
	60	97	94	96.9	" 99.5
	78	133	133	100	" 100
	80	102	102	100	" 100
	125	138	137	99.3	蘇生し始む, P = 100
	600	97	95	97.9	"
	3000	673	673	100	再び 100%運動停止す
	86400	413	413	100	
	432000	640	640	100	
4.5 (0.25)	40	163	0	0	P = 0.16
	49	138	3	2.2	" 2.4
	60	138	136	98.6	
	90	265	258	97.4	蘇生し始む
	3600	283	272	96.1	P = 100
	86400	194	190	97.9	
	259200	567	567	100	再び 100%運動停止す
4 (0.22)	40	94	0	0	P = 0.006
	50	87	0	0	" 0.16
	66	52	50	96.2	
	180	52	50	96.2	
	240	52	49	94.2	蘇生し始む, P = 99.9
	900	326	303	92.9	" 100
	86400	203	200	98.5	
	172800	328	324	98.8	
	259200	628	628	100	再び 100%運動停止す
3 (0.17)	60	129	0	0	P = 0
	66	86	1	1.2	" 0.002
	90	86	83	96.5	
	240	86	78	90.7	
	14400	563	223	39.6	
	17800	526	0	0	
	432000	728	0	0	
2 (20.11)	120	357	0	0	P = 0
	3000	421	0	0	" 0.1
	86400	312	0	0	" 0.2
	432000	397	0	0	" 0.2
1 (0.055)	360	123	0	0	" 0
	432000	297	0	0	" 0
0.6 (0.033)	432000	356	0	0	" 0
0.45 (0.025)	"	895	0	0	" 0





第6図 室温20°Cに於けるブドウ系溶液に対するゾウリムシの抵抗力  
縦軸：ブドウ糖の濃度(%), 横軸：作用時間(秒単位), 6%濃度以下に於いて適応が起るが再び二次的ストレスにより運動が停止し得る。2%は限界濃度である。

起る。

$$p = \frac{(c-2)t - 173.000}{0.0168t + 400.4} \dots\dots\dots(22)$$

ブドウ糖溶液では, NaCl, KCl の塩類溶液に較べて, 二次的に起る化学的ストレスによる運動停止が, 著しく延長する。(第6図参照)

II. 浸透圧変化に対する淡水魚の抵抗力に就いて

1. 室温20°Cに於ける NaCl 溶液に対するドジョウの抵抗力

A. 実験方法

養魚場で飼育した長さ 12.2 cm~15 cm, 重さ 6.8~12 gm のドジョウを実験に用い, 20°±1°Cの室温で実験を行った。肉眼的観察による自発的運動ならびに鰓の呼吸運動停止を以て NaCl 溶液の浸透圧変化に対するドジョウの抵抗力限界の基準とした。

ドジョウを, 水 10 l 入りの間口の広い硝子製の水槽で, 各種濃度の NaCl 溶液に入れ, 運動停止の出現率を, 時間を逐つて観察した。先ず上記水槽内に, 各種濃度の NaCl 溶液を, 5 l 入れ, その中に, 毎回5匹ずつのドジョウを同時に入れて, 時間を逐つて, 運動停止動物の出現を観察した。各種濃度の NaCl 溶液の作用時間を, 色々変えて, ドジョウ全体(100%)が運動を続ける最長時間と, 運動を100%停止する最少時間を測定した。6時間を以て, 最長観察時間とした。

B. 実験成績

実験成績は第11表に示している。これを対数グラフ上に示したのが, 第7図である。各種濃度の NaCl 溶液に, ドジョウを入れて, 肉眼的に観察すると, 高濃度の NaCl 溶液は, ドジョウの運動停止時間を, より速かに短縮させるが, 低い濃度に於ては, その延長をみた。殊

に6時間の観察に於て, 1.5%以下の NaCl 溶液では, 始めから活発な運動をみた。

C. 考察

実験成績から, 室温20°Cに於ける, 高張 NaCl 溶液に対するドジョウの抵抗力を, 近似値的に表わす(23式)を誘導した。

$$P = \frac{10}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^p \frac{e^{-dP}}{200} \dots\dots\dots(23a)$$

$$p = \frac{(c-1.3)t - 861}{0.00045t + 111.7} \dots\dots\dots(23b)$$

但し, 各記号の意味は(2)式に於けると同じである。

ドジョウに於ては, ゾウリムシの場合にみられたような, 適応現象は現われない。(第7図)

全般的に NaCl 濃度と作用時間及び呼吸運動停止反応出現率との間の数学的關係は, ゾウリムシに於ける場合と同一の形式になる。

2. 30°Cの NaCl 溶液に対するドジョウの抵抗力

A. 実験方法

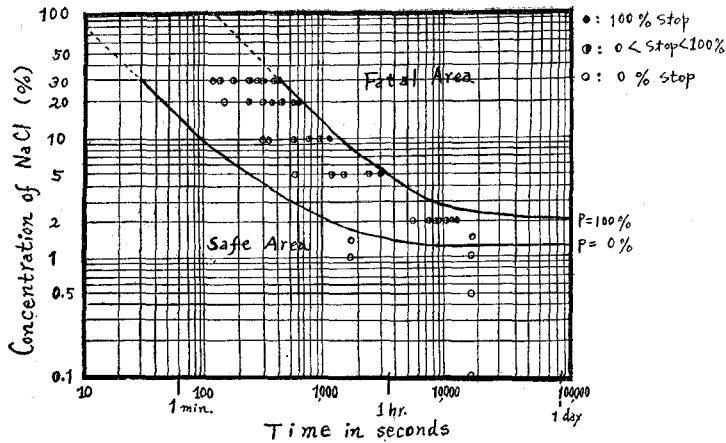
恒温水槽を用いて 30°±1°Cの NaCl 溶液をつくり, 実験IIの1. と全く同一な方法で, 実験を試みた。最長観察時間は3時間であつた。

B. 実験成績

実験成績は第12表に示してある。これを対数グラフ上に示したのが, 第8図である。1.0%以下の NaCl 溶液では, 始めから運動停止なしに, 活発な運動をみた。すなわち, IIの1の実験成績に較べると, 10°C高い30°Cの温度では, 低濃度の NaCl 溶液の浸透圧変化にも, 運動停止が起り, かつ運動停止時間も短縮される。

第 11 表 室温 30°C に於ける各種濃度の NaCl 溶液に対するドジョウの抵抗力

濃 度 % (mole/l)	作用時間 sec	動物例数	呼吸停止 動物例数	呼吸停止 百分率	理論的呼吸停止 反応出現率: P	理 論 的 “probacent” : P
30 (5.1)	120	34	0	0	0.47	24.0
	130	34	1	2.94	0.8	25.76
	180	34	4	11.76	12.5	38.5
	240	34	21	61.76	65.0	53.9
	270	34	25	73.53	87.5	61.6
	300	34	27	79.41	97.3	69.3
	380	34	33	97.06	99.9	89.8
	400	34	34	100	100	94.9
20 (3.4)	160	33	0	0	0.1	19.06
	180	33	1	3.03	0.3	22.41
	240	33	5	15.15	4.0	32.44
	300	33	10	30.30	11.5	37.99
	360	33	20	60.60	59.5	52.48
	420	33	29	87.87	98.4	71.44
	540	33	32	96.96	99.9	82.51
	600	33	33	100	100	92.51
10 (1.7)	300	43	0	0	0.02	15.64
	310	43	1	2.32	0.04	16.41
	540	43	4	9.3	6.0	34.28
	780	43	36	83.72	62.0	52.9
	960	43	39	90.69	95.4	66.82
	1120	43	43	100	99.9	79.88
5 (0.9)	570	44	0	0	0	11.14
	1200	44	2	4.5	3.5	31.9
	1680	44	19	43.2	40.5	47.6
	2400	44	43	97.7	98.2	70.89
	3000	44	44	100	100	98.23
	2 (0.34)	5400	45	0	0	0.3
7200		45	3	6.66	8.5	36.37
8400		45	12	26.66	25.5	43.49
9000		45	18	40.00	38.5	47.01
10200		45	32	71.1	65.5	53.99
10800		45	37	81.5	77.5	57.45
12600		45	45	100	96.2	67.79
1.5 (0.26)		1800	68	0	0	0
	18000	68	0	0	0.3	22.89
1.0 (0.17)	1800	56	0	0	0	-2.8
	18000	56	0	0	0	-37.9
0.5 (0.08)	18000	68	0	0	0	-113.0
0.1 (0.017)	18000	73	0	0	0	-180.3



第7図 室温 20°C に於ける NaCl 溶液に対するドジョウの抵抗力  
縮軸：NaCl の濃度(%)，横軸：作用時間(秒単位)，  
自発的運動と鰓呼吸運動の停止を観察した。

C. 考察

実験成績から、水温 30°C に於ける、高張 NaCl 溶液に対するドジョウの抵抗力を、近似的に表わす式(24)を誘導した。

$$P = \frac{10}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^D e^{-\frac{(p-50)^2}{200}} \cdot dp \dots\dots (24 a)$$

$$p = \frac{(c-1)t - 435}{0.00034t + 42} \dots\dots (24 b)$$

但し、各記号の意味は(2)式に於けると同じである。

3. 10°C の NaCl 溶液に対するドジョウの抵抗力

A. 恒温室を使用し、10°C の NaCl 溶液を作り、II の I. の実験と、同じ方法で実験を行った。

B. 実験成績

実験成績は第 13 表に示している。これを対数グラフ上に示したのが、第 9 図である。2.0% 以下の NaCl 溶液において始めて、運動停止をみず、始めから活発な運動をみた。II の 1. 及び 2 の実験成績に較べて 10°C ないし 20°C 低い温度では、より高濃度の NaCl 溶液にも運動停止をみないのみならず、運動停止までに要する時間が、前述の II の 1 及び 2 の実験の場合に比し、延長されることが分る。すなわち低い温度における浸透圧の変化に、ドジョウがもつと堪えられることが分る。

C. 考察

実験成績から水温 10°C に於ける高張 NaCl 溶液に対するドジョウの抵抗力を表わす式(25)を誘導した。

$$P = \frac{10}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^D e^{-\frac{(p-50)^2}{200}} \cdot dp \dots\dots (25 a)$$

$$p = \frac{(c-1.7)t - 1698}{0.00116t + 219.8} \dots\dots (25 b)$$

但し、各記号の意味は(2)式に於けると同じである。

水温 10°C, 20°C, 30°C の場合の Q<sub>10</sub> を計算して、式で表わすと次の如くなる。

0 ≤ P ≤ 100 の範囲に於て

30°C と 20°C の水温では

$$Q_{10} = \frac{K_{30}}{K_{20}} = \frac{t_{20}}{t_{30}} = \frac{(861 + P \times 111.7)}{(435 + P \times 42)} \times \frac{(c-1-P \times 0.00034)}{(c-1.3-P \times 0.00045)} \dots\dots (26)$$

$$Q_{10} > 1.97 \sim 2.59 \dots\dots (27)$$

20°C と 10°C の水温では

$$Q_{10} = \frac{K_{20}}{K_{10}} = \frac{t_{10}}{t_{20}} = \frac{(1698 + P \times 219.8)}{(861 + P \times 111.7)} \times \frac{(c-1.3-P \times 0.00045)}{(c-1.7-P \times 0.00116)} \dots\dots (28)$$

$$Q_{10} > 1.96 \dots\dots (29)$$

従つて、水温 10°C の上昇により、浸透圧作用によるドジョウの呼吸停止反応速度が、約 2 倍に増大することが分る。(第 10 図)。同時に 閾値濃度は、水温の上昇につれて、低下するのみをみる。

結 論

水棲の原生動物であるゾウリムシと淡水魚であるドジョウとの 2 種動物を用いて、各種濃度の NaCl, KCl ならびにブドウ糖溶液に対するこれら動物の抵抗力を観察し、同時に、室温又は、水温の温度変化が、これらの抵抗力に及ぼす影響を追求して、その結果を分析することにより、次の如き事実を知り得た。

- 1). 各種濃度の NaCl, KCl, およびブドウ糖溶液に対するゾウリムシの抵抗力を測定した。
- 2). 室温 20°C における適応は NaCl 溶液では 2% 以下で、KCl 溶液では 3% 以下で、ブドウ糖溶液では 6%

第 12 表 30°C に於ける各種濃度の NaCl 溶液対するドジョウの抵抗力

濃 度 % (mole/l)	作用時間 sec	動物例数	呼吸停止 動物例数	呼吸停止 百分率	理論的呼吸停止 反応出現率: P	理論的 "probacent" : p
30 (5.1)	30	80	0	0	0	10.4
	60	80	4	5.0	3.0	31.05
	70	80	9	11.2	6.5	40.33
	90	80	43	53.75	56.9	51.74
	120	80	72	89.9	98.7	72.43
	140	80	79	98.8	99.9	84.82
	150	80	80	100.0	100.0	93.1
20 (3.4)	60	84	0	0	0.04	16.8
	90	84	8	9.5	2.5	30.33
	120	84	20	23.8	27.0	43.88
	150	84	59	70.2	77.2	57.43
	180	84	75	89.3	98.2	70.97
	240	84	84	100.0	100.0	98.42
	270	84	84	100.0	100.0	111.54
10 (1.7)	90	80	0	0	0	8.9
	180	80	7	8.7	1.5	28.17
	300	80	65	81.2	75.0	53.8
	430	80	80	100.0	99.9	81.49
5 (0.9)	240	56	0	0	0.01	12.47
	600	56	29	51.8	36.5	46.56
	720	56	45	80.4	78.5	57.89
	840	56	56	100.0	97.3	69.18
2 (0.34)	900	60	0	0	0.006	11.07
	1800	60	4	6.7	3.5	32.04
	2400	60	20	39.9	34.5	45.91
	3000	60	52	86.7	83.5	59.65
	3600	60	58	96.7	99.0	73.26
	3900	60	60	100.0	99.9	81.91
1.5 (0.26)	1800	10	0	0	0.03	15.51
	5400	10	4	40	56.9	51.71
	9000	10	9	90	99.9	90.33
	11400	10	10	100	100.0	114.7
1.0 (0.17)	10800	33	0	0	0	-9.51
0.5 (0.08)	10800	28	0	0	0	-12.77
0.1 (0.017)	10800	50	0	0	0	-22.22

以下の濃度において、現われる。

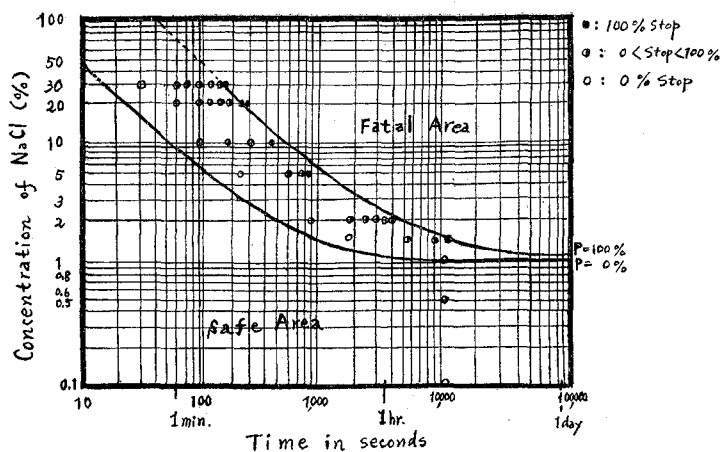
3). 適応不能の濃度に於て、浸透圧的ストレスによるゾウリムシの繊毛運動停止の反応出現率を、各溶液の濃度と、作用時間の函数として近似値的に表わす数式を誘導した。

4). 室温の上昇は、高張 NaCl 溶液に対するゾウリムシの抵抗力を減弱させる。すなわち、同一濃度において

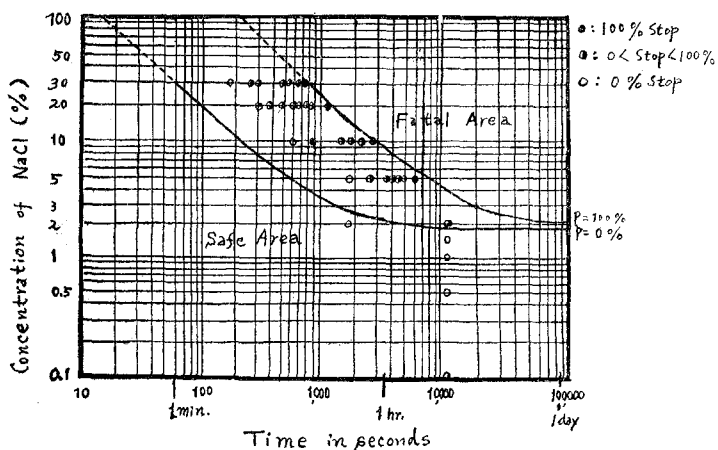
も、運動停止時間が 10°C の上昇に従い、約 2/3 に短縮される。

5). 各種濃度の NaCl 溶液に対するドジョウの抵抗力を測定した。ゾウリムシにみられる如き、適応現象は観察されない。

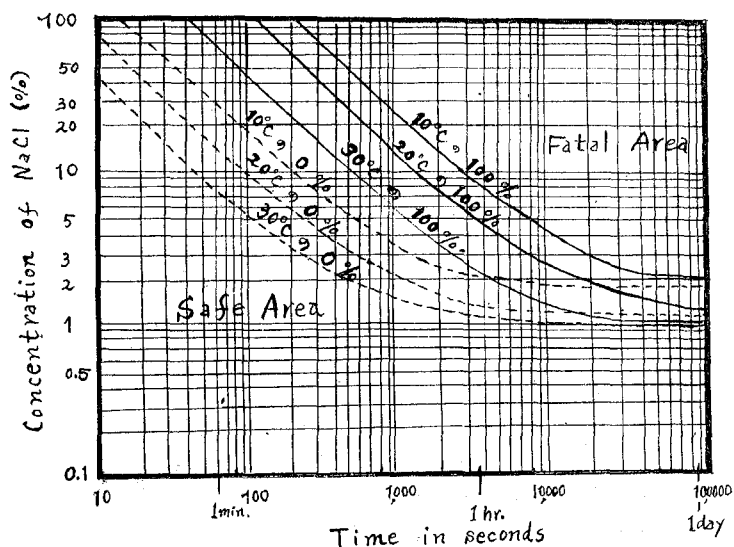
6). NaCl 溶液の水温の上昇につれて、ドジョウの呼吸停止反応速度は促進され、10°C の温度上昇に伴い、



第 8 図 30°C の各種濃度の NaCl 溶液に対するドジョウの抵抗力  
縦軸：NaCl の濃度(%), 横軸：作用時間(秒単位),



第 9 図 10°C の各種濃度の NaCl 溶液に対するドジョウの抵抗力  
縦軸：NaCl の濃度(%), 横軸：作用時間(秒単位),



第 10 図 各種濃度の NaCl 溶液に対するドジョウの抵抗力に及ぼす温度の影響。  
溶液温度 10°C の上昇につれて作用時間は約 2/3 に短縮する (10°C, 30°C),  
同時に致死並びに安全限界の左方移動と限界閾値濃度の降下見をる。

第 13 表 室温 10°C に於ける各種濃度の NaCl 溶液に対するドジョウの抵抗力

濃 度 % (mole/l)	作用時間 sec	動物例数	呼吸停止 動物例数	呼吸停止 百分率	理論的呼吸停止 反応出現率: P	理 論 的 “probacent” : p
30 (5.1)	180	15	0	0	0.03	15.4
	260	15	1	6.7	0.8	25.71
	300	15	2	13.3	2.5	30.85
	480	15	10	66.7	65.5	53.93
	540	15	13	86.7	87.5	61.63
	660	15	14	93.3	99.6	76.96
	760	15	15	100.0	100.0	89.76
20 (3.4)	300	18	0	0	0.05	17.2
	370	18	1	5.6	0.4	23.05
	480	18	2	11.1	3.0	32.15
	600	18	4	22.2	21.5	42.09
	660	18	6	33.3	38.5	47.05
	780	18	13	72.2	75.5	56.98
	840	18	16	88.9	88.5	61.92
1148	18	18	100.0	100.0	87.33	
10 (1.7)	600	13	0	0	0.02	14.92
	860	13	1	7.7	0.6	24.62
	1560	13	7	53.9	53.0	50.76
	1800	13	10	76.9	83.5	59.67
	2100	13	12	92.3	98.1	70.8
	2700	13	13	100.0	100.0	92.92
5 (0.9)	1800	19	0	0	0.1	19.10
	2580	19	1	5.2	2.5	30.59
	3600	19	6	31.5	32.5	45.45
	3900	19	9	47.4	49.5	49.80
	4200	19	14	73.6	66.0	54.12
	4800	19	18	94.7	89.5	62.74
	6000	19	19	100.0	99.9	79.83
2 (0.34)	1800	20	0	0	0	0.46
	10800	20	2	10.0	14.0	39.18
1.5 (0.26)	10800	30	0	0	0	-16.17
1.0 (0.17)	10800	45	0	0	0	-39.85
0.5 (0.08)	10800	28	0	0	0	-63.09
0.1 (0.017)	10800	40	0	0	0	-81.69

約 2 倍になる。

7). 高張 NaCl 溶液の浸透圧によるドジョウの呼吸停止反応出現率を, NaCl の濃度と作用時間の函数として近似値的に表わす式をつくつた

終りに臨み, 本実験において御指導を賜つたカトリック大学医学部生理学主任教授鄭聖璋先生に深く感謝する。

文 献

- 1) Prosser, et al. : Comparative Animal Physiology. W.B. Saunders, Philadelphia. (1952)
- 2) Kamada, T. : Vacuolar output by paramecium in different media, J. Fac. Sac. Imp. Univ. Tokyo, 4 195—202 (1936)
- 3) Hayes, F.J. : Respiration of paramecium in different salinities. Zr. vergl Physiol. 13 214—333 (1930)

- 4) 田多井吉之介：汎適応症候群 協同医書出版社 (1953)
- 5) Heilbrunn, L.V. : An Outline of General Physiology. W. B. Saunders, Philadelphia (1955)
- 6) Chung, S.J. : Studies of Positive radial acceleration of mice. J. Applied Physiology, **14** 52 (1959)
- 7) 鄭 聖 璋 : Quinacrine Hydrochloride に対する Paramecium の耐力に関する実験 航空医学 **6** 77 (1958)
- 8) 鄭 聖 璋・曹 德 煥 : 温熱ストレスに対する Paramecium caudatum の耐力に関して, カトリック大学医学部論文集 **3** 59 (1959)
- 9) 鄭 聖 璋 : 電離性放射線に対する人体耐力の数式的表示 航空医学 **6** 13 (1958)
- 10) 千谷利三 : 一般物理化学 下巻 内田老鶴園 (1957)
- 11) Glasstone, S. : The elements of Physical Chemistry, 9th Edition. D. Van Nostrand Co., New York P. 269 (1946)
- 12) Frisch, J.A. : Experimental adaption of paramecium to Sea water. Arch. Protist. **93** 38—71 (1939)
- 13) Kamada, T. : Responses of contractile vacuole of paramecium to osmotic concentration of medium. J. Fac. sci. Imp. Univ. Tokyo **4** 49—61 (1935)
- 14) Eisenberg, E. : Function of contractile vacuole in paramecium. Arch. Biol. **35** 441—464 (1925)
- 15) Caw, H.Z. : Effects of medium upon contractile vacuoles of ciliate. Arch. Protist. **87** 185—193 (1936)
- 16) Herfs, A. : The role of contractile vacuoles in acclimatization of protozoa to different salinities. Arch. Protist. **44** 227—260 (1922)
- 17) 戸谷真澄 : 末梢神経の興奮性並に興奮性に対する水の生理的意義 日本生理誌 **9** 1011 (1955)
- 18) Barlow, R.B. : Introduction to chemical pharmacology. John Willey Son Co., New York. p. 269 (1955)
- 19) 柳生亮三 : ゼウリムシ 生理学講座 中山書店 (1955)
- 20) Eisenberg, E. : Function of contractile vacuole in paramecium Arch. Biol. **35** 441—464 (1925)
- 21) Bliss, C.L. : Quart. J. Pharm. **11** 192 (1938)
- 18) より引用