

硫酸銅低濃度液中におけるキングギョとコイの生存と成長

尾崎 久雄・上松 和夫・田中 幸二

(1970年7月10日受領)

Survival and Growth of Goldfish and Carp in Dilute Solutions of Copper Sulphate

Hisao Ozaki, Kazuo Uematsu, and Koji Tanaka

Subacute and chronic intoxication of copper sulphate on goldfish and carp were tested under lower concentrations than those in usual cases of TLM test in 24 or 48 hours. The effects were measured, in tanks containing the water of 48 or 50 l with 5 fish of similar size placed as one experiment lot, referring to the maximum and minimum periods of survival (days), the growth in length and weight of body, the condition factor and amount of food consumed. The temperature of the water was kept at $23 \pm 1^\circ\text{C}$, and pH value at 5.7 ± 0.1 during the test extending the maximum of 30 days. Also, seven kinds of copper compounds were examined on the survival (in hours) of carp.

The tests revealed, among others, that the concentrations which permitted the survival of more than 30 days were 0.17 ppm for goldfish, and 0.08 for carp in the maximum and that the growth showed lowering at 0.08 ppm for goldfish and 0.024 for carp in the minimum.

The amount of food consumed decreased to 70% at the concentration of 0.008 ppm in carp against 100% at 0 ppm, though the fish survived more than 30 days in apparent healthy condition at this low concentration. The decrease of intake of food by carp was believed to have resulted from the toxic effects of copper sulphate on the mucous epithelia and on the enzymes in the digestive tract as usually observed in mammals.

Discussion was made from the results of the present study and from literature referring to the so-called safety concentrations of copper compounds, which are often applied for the extermination of parasitic animals and plants to fish. The concentrations of copper sulphate used for such purposes range from 500 to 0.04 ppm. The safety level has been often calculated from the TLM in 24 or 48 hours. However, the results gained in the present study will indicate that the allowance on the safety concentration of copper sulphate of fish should be made on the basis of the bioassay tests aimed to the seeking of the concentrations which effect subacute or chronic intoxication rather than on usual TLM test in shorter periods as above mentioned.

(Tokyo University of Fisheries Konan 4, Minato-ku, Tokyo, Japan)

金属銅や銅化合物、例えば硫酸銅は種々な細菌性あるいは外部寄生性の病魚の治療や養魚池に繁茂する植物の生育抑制に利用されているが、工場や鉱山からの廃水に含まれていて魚類やその他の水棲生物に被害を与える原因にもなっている。治療に用いるにしても、汚染源として考えるにしても、銅化合物の魚類に対する作用や効果についてもっと詳しく研究しておかねばならない。銅化合物の毒性はかなりやかましくいわれていながら、それに関する知識は乏しく、電撃性(siderant)中毒死といっ

てよい急性中毒死である24時間あるいは48時間TLM

の報告があるが、それも研究者によって値が違っている。それよりも長期間を要して中毒してゆく亜急性や慢性の中毒についての研究は少ない。毒物としての作用と薬物としての効果との間にはある共通な基盤がなければならぬが、両者の融合という方向へはまだ歩み出していない。この分野での狩谷等(1967)の研究は法医学的な研究の基礎になるものであろう。我々も種々の重金属化合物の魚類に対する毒性および薬理作用について研究して来ているが、ここには銅化合物、特に硫酸銅による亜急性および慢性中毒について得られた結果の一部を報

告する。

材料と方法

実験に用いた魚はワキン (*Carassius auratus*) とコイ (*Cyprinus carpio*) で実験開始時と終了時の各実験群の平均の標準体長と体重は Table 1 と 2 に示した。両魚種とも 5 尾を 1 群とし、各群はほぼ同じ体長の個体で構成されるようにした。

飼育水槽は 30×45×60 cm で、一昼夜放置した水道水に常時通気して用いた。吸着などによる被験物質の濃度の変化を顧慮して、汙過方式は用いず、毎日水槽の水の一部を交換して水の汚れを軽減することに努めた。

実験 I はキンギョのみを用い、昭和 41 年 10 月 29 日から 11 月 29 日までの 30 日間実験を行なった。水槽の水量は 48 l で、毎日その 8 l を更新した。餌はユスリカの幼生を毎日各水槽に均等に与えたが、1 日の摂餌量を充している量とは思えない。得られた結果から摂餌量の効果がみられることになった。実験開始時と終了時に体重を測定した。

実験 II はキンギョとコイを用いたもので、11 月 5 日から 1 月 18 日に亘って実験した。水量は 50 l で、毎日その 10 l を更新した。この実験ではイトミミズを十分量与えたのでコイの摂餌量を測定することが出来た。約 1 週間から 10 日毎に体長と体重を測定した。

用いた硫酸銅の濃度は結果の処で示したように数日以上生存しうる低い濃度である。濃度は無水硫酸銅重量 ppm で示した。水温と pH とは毎日測定した。水温は 23±1°C であり、pH は 5.7±0.1 でやや酸性であった。

結 果

中毒症状

重金属塩の水溶液の中での魚の中毒症状は金属の種類に拘わりなくかなり似ている部分がある。金属の種類、塩の種類、濃度、水温、魚種、水の硬度、夾雑物などによって中毒経過には遅速がある。例えば 1.2 ppm 以上の濃度では通気が十分であるにも拘わらず 3 時間もすると鼻上げや浮上がみられる。毒物の刺激によって鰓から粘液が分泌され、それに重金属が作用したり、酸性のために硬化して、鰓における酸素の取り込みが不十分になるためであろう。硫酸銅は高濃度では腐蝕作用を、低濃度では収斂作用を及ぼすが、鰓にとってはいずれの作用もガス交換の障害となるだろう。13 時間も経つと狂奔症状を示すものがでて来るが、これは中毒死の直前には大抵の場合に現われて来る 非特異的の症状である。48 時

間以内に死んだもの、あるいは衰弱したものでは一般に体色が黒変し、体表の粘液分泌が亢進していた。

コイはキンギョよりも毒性に対する抵抗が小さく、0.08~0.16 ppm で非常に早期に、まだ中毒死する時刻でもないのに、突然死ぬ個体があった。死魚にはこれといった特徴のある症状がないものがある。0.16 ppm 以上の濃度で死んだ個体では、キンギョと同様に、体表や鰓が厚い粘液で覆われ、体色が黒変し、鰓から出血していたり、眼窩下部に発赤がみられたりし、また 0.56 ppm で 7 日後に死んだ個体では内臓に出血がみられた。これらは腐蝕作用によるものであろう。

キンギョにおける結果

結果は実験 I と II に分けて示した (Table 1)。両実験で高濃度の生存日数が短いものは生体計測を行なわなかった。

最長生存日数 実験 I では 1 ppm では 1 週間しか生存しなかった。0.58 ppm では 1 尾だけが 30 日以上も生き残ったが他は 15 日以内に死んだ。0.42 ppm では 19 日で全個体が死んだ。0.17 ppm 以下になると全個体が 30 日以上生存した。実験 II では 0.16 ppm 以下なら全個体が 30 日以上生存した。それ以上の濃度では 30 日以内に全部死んだ。これらの結果からこの水温で 30 日以上生存しうる限界の濃度は 0.16 ppm である。

成長 体重および体長の成長は実験開始時の値を 100% として終了時の値を表 (Table 1) に示しておいた。

体重成長については実験 II では期間途中で体重測定を行なったので体重成長の推移がわかる (Fig. 1)。対照群 (0 ppm) に比して、0.08 ppm と 0.16 ppm では体重増加は極めてゆっくりであり、0.24 ppm では始めから体重が減少してゆく。

Table 1 から実験 I の 0.17 ppm, 実験 II の 0.24 ppm では 30 日位は生存しているのに終了時の値は開始時の値より小さく、体重減少が起こっている。これより稀い濃度では体重は増加するがその割合は低濃度のもの程大きい。しかし最も低い濃度でも対照群の値よりは小さい。実験 II の 0.08 ppm では体重増加の割合は対照群の 1/3 に減っている。このような濃度では外見上健康そうにみえ摂餌もするが、内的には大きな障害を受けていることを示している。

キンギョでは 2 回の実験を行なったが、実験 I では餌を十分量与えておらず、実験 II では十分に与えた。両実験で硫酸銅濃度の増大と 30 日間の体重増加の割合をみると、実験 I の対照群の増加量は 108% だが、0.58

Table 1. The results of a bioassay test in two experiments on goldfish conducted in 48 l tanks with five test fish as one lot which were fed substantially. The figures on the weight, size, and condition factor (1000 W/L³. W: body weight (g); L: body length (cm)) show the averages and the increments by %.

Concentration of CuSO ₄ (ppm)	Maximum survival period (days)	Body weight (g)		Body length (cm)		Condition factor	
		initial	final (%)	initial	final (%)	initial	final (%)
Experiment I							
0.0	>30	8.5	9.2(108)	5.6	6.2(111)	48	39(81)
0.17	>30	7.5	7.3(93)	5.6	5.6(100)	43	42(98)
0.42	19	5.4	4.8(89)	5.0	5.1(102)	43	36(84)
0.58	>30	6.1	5.2(85)	5.3	5.6(106)	41	30(73)
0.67	13	not measured because of short survival period.					
0.83	6						
1.00	7						
Experiment II							
0.0	>30	5.5	18.2(331)	5.1	7.8(153)	42	39(93)
0.08	>30	6.5	11.4(175)	5.3	6.2(117)	45	43(96)
0.16	>30	4.0	6.4(160)	4.3	5.7(133)	50	35(70)
0.24	27	7.1	5.5(77)	5.4	6.0(111)	45	26(58)
0.40	5	not measured.					
0.56	5						

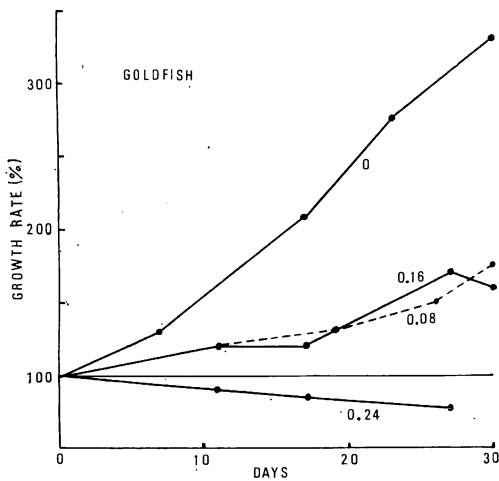


Fig. 1. The growth curves in body weight of goldfish tested under different concentrations of copper sulphate for 30 days. Figures show the concentration in ppm, and the growth shown by % increment.

ppm でも 85% で、その差は僅少である。実験 II では対照群が 331% で 0.24 ppm では 77% となり変動が大きい。0.24 ppm の時の方が 0.58 ppm の時よりも餌

が十分なのに体重減少が大きいという現象がみられた。実験 I では餌が十分でなかったために硫酸銅の効果が一層鮮明になっている。

体長成長では体長が減少するということは一般にはあり得ないが、成長率からみると実験 II では対照群が 153% であるのに 0.08 ppm では 117% しか成長していない。実験 I では 0.17 ppm 以上では体長成長は事実上停止している。体長は減少し得ないが体重は減少もしうるということにより大きい変動を示し、それだけ鋭敏な尺度となりうる。

肥満度は対照魚でも 30 日後には少し減少しているが、これは正常な現象なのであろう。硫酸銅濃度が高くなると肥満度の相対値は急速に小さくなり、実験 I では 0.58 ppm で 73%、実験 II の 0.24 ppm では 58% という小さい値になる。体長よりも体重がより大きく影響を受けることを示している。

コイにおける結果

得られた結果は Table 2 に示した。

生存日数 最長生存日数は 0.08 ppm 以下では 30 日以上になっているが、それ以上の濃度では急に短くなる。生存期間が必ずしも濃度に反比例していないのは

Table 2. The results of the same test as in Table 1 on carp. (For explanation, see Table 1)

Concentration of CuSO ₄ (ppm)	Survival period (days)		Body weight (g)		Body length (cm)		Condition factor	
	maximum	mean	initial	final (%)	initial	final (%)	initial	final (%)
0.0	>30	>30	4.0	11.1(278)	5.15	7.50(146)	29	26(90)
0.008	>30	>30	3.0	9.2(306)	4.70	7.10(151)	29	26(90)
0.024	>30	>30	3.3	5.5(167)	4.85	5.75(119)	29	29(100)
0.04	>30	>30	4.5	5.8(129)	5.30	6.00(113)	30	27(90)
0.08	>30	>30	3.4	4.0(118)	4.70	5.00(106)	33	32(97)
0.16	9	7.8	3.7	—	4.90	—	31	—
0.24	20	11	3.5	3.4(97)	5.00	5.40(108)	28	22(79)
0.40	15	8.8	3.7	3.3(89)	5.30	5.30(100)	25	22(88)
0.56	7	5.2	3.8	—	5.20	—	27	—

個体差が大きいことを示すものである。平均生存日数は 0.08 ppm 以下で 30 日以上となり、この濃度以下では中毒死したものがいないことを示す。この濃度以上になると平均生存日数も急に短くなる。ある日数以上生存出来るものは 30 日以上も生存しうるらしいことを暗示している。

成長 種々な濃度における体重成長の経過は Fig. 2 に示した。0.008 ppm では対照群を上廻る成長をしているが、0.024 ppm では著しく低下し、0.04 と 0.08 ppm ではさらに強く抑制され、0.24 ppm では始めの 10 日間は体重の減少はなかったが、20 日目には減少すると共にそれ迄に全部死に、0.40 ppm では始めから体重の減少があり、15 日までに全部死んだ。硫酸銅濃度と体重成長の関係がきれいに示されている。

体重成長 (Table 2) は対照群は 30 日間で 278% に

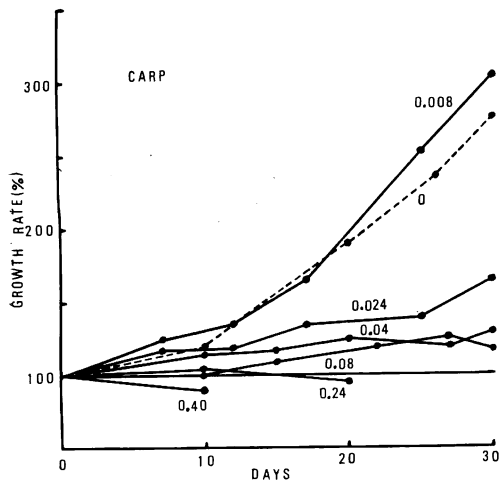


Fig. 2. The same curves as in Fig. 1 for carp.

なっているが、0.008 ppm では 306% でそれより大きい。しかしそれ以上の濃度になると成長率は対照群より小さくなり、0.024 ppm では 167% にしかならない。0.24 ppm 以上では体重減少を来す。平均生存日数が 30 日以上の濃度では体重増加があるが、30 日以下の濃度では体重減少があり、この区別は明確である。

体長成長は対照群で 146% であり、0.008 ppm ではこれより大きく 151% であるが、それ以上の濃度では成長率は急に減少し、0.08 ppm では 106% しかない。0.40 ppm では平均 9 日しか生存せず、成長していない。

肥満度は対照群でも 30 日後には始めの値の 90% に減じているから、成長と共に減少してゆくのであろうが、0.024 ppm では変化がなく、0.08 ppm までは対照

Table 3. The relation between the concentrations of copper sulphate and the amount of food (*Limnodrilus*) consumed by the test fish of carp. The amount of food is expressed by the wet weight (g) of the food consumed per day per total weight (g) of fish. Total weight is the average of those at the beginning and the end of the experiment.

Concentration of CuSO ₄ (ppm)	Food amount consumed (g/day/g body weight)
0	0.28
0.008	0.20
0.024	0.23
0.04	0.20
0.08	0.17
0.16	0.25
0.24	0.17
0.40	0.20
0.56	0.15

群より高い相対値を示している。0.24 ppm 以上になると対照群より小さい値になる。しかしキンギョの実験 II の 0.24 ppm における 58% というような低い値はみられない。

摂餌量 毎日イトミミズを飽食するだけ与え、その量が硫酸銅濃度と共にどう変化するかを調べた。各水槽の毎日の摂餌量を 30 日に亘って集計し、1 日当り、1 尾当りの値を求め、実験開始時の体重と終了時の体重の平均値で除して求めた。生まのままの重さを用いた (Table 3)。摂餌量は硫酸銅濃度と共に漸次減少してゆくとわかる。対照群の値が一番大きく、0.008 ppm ですでに約 30% も減少しており、0.56 ppm では対照群の 50% にも減少している。我々が用いた硫酸銅濃度では食欲は抑制されているが、摂餌は行なわれている。高濃度になると活発な摂餌行動はみられなくなり、摂餌していながら体重の減少が起こることになる。

考 察

硫酸銅の利用濃度

硫酸銅は魚類の病気の治療に用いられている。例えば細菌性疾患 (*Columnaris* 病, Finrot 病), Protozoa 病 (*Myxosporidium* 症), 水カビ病, その外の外部寄生生物の治療には 500 ppm という高い濃度で 1~5 分間位の治療法が用いられた (Davis, 1961; van Duijn 1965 など)。これはかなり高濃度であり、小さなコイ (体長 7 cm, 水温 20°C) ではこの濃度では 30 分位で死んでしまう毒性を持つ。5 分以内なら生存には心配ない。Kingsbury and Embury (1932) は外部寄生虫の処理に 10 ppm 位の濃度を推奨している。これでもコイでは 1 時間位で体色が黒化し、不活発になり、3 時間後には横転し、瀕死状態になり、早いものは死ぬ程の毒性である。従って短時間の使用なら心配はない。Surber (1943) は藻類の枯滅用に 2 ppm になるように池に散布することを述べているが、この濃度では本実験のキンギョやコイは数時間ないし 10 数時間で全個体が死んでしまう。堤 (1960) は海水魚の外部寄生虫 *Benedenia* の処理には他の薬剤と共に 0.5 ppm の硫酸銅液で 80 時間処理すると有効であり、魚体への薬害も少ないことを報告している。この濃度は本実験の魚は 5 日間位生存出来る濃度である。海水魚は一般には種々な処理に対して抵抗が弱いものだが、約 3 日間の治療に耐えられるのは海水に溶かして用いるからであろう。硫酸銅あるいは金属銅の毒性は水質や共存物質によって変動することが指摘されている (田端・西川, 1969; van Duijn, 1956)。硫酸銅毒の性が水の硬度によって低下することも関係があるだろ

う。海水中の硫酸銅の毒性について研究する必要がある。O'Donnell (1943) は *Esox masquinongy* の稚魚の池に生えるアミミドロ (*Hydrodictyon*) の抑制に 0.33 ppm の濃度に用いることを推奨しているが、キンギョやコイでは 20 日間位生存しうる濃度である。水の流れや有機物の存在のため、始めはこの濃度でも実際の毒性は急速に低下してゆくだろう。広崎等 (1963) は海水魚の白点病の抑制に 0.04 ppm の濃度で長期間使用するのが有効であると報告している。この濃度なら淡水のコイやキンギョは 30 日以上も生存しうるのであるから、海水中なら心配ないだろう。しかしコイは 0.008 ppm でも摂餌量の減少がみられるから、一般に敏感な海水魚では摂餌の抑制が起こるかもしれない。

大谷等 (1938) は流水選択法でウナギの嫌避行動を示す硫酸銅濃度が 12.47 ppm 附近にあることをみている。この値は致死濃度からみても非常に高いが、急速な判断と明確な行動を示すためにはこれ位の高い濃度が必要なのであろう。

以上が硫酸銅が薬剤として用いられている場合であり、その濃度は 500 から 0.04 ppm に及んでいる。硫酸銅が毒になるか薬になるかは濃度ではなくて作用時間のとり方で決まる。我々は濃度を低くとり、作用時間を長くして毒作用を調べたのである。

硫酸銅濃度と生存日数

狩谷等 (1967) によればワキンで 8~11°C で 24 時間生存限界が約 0.7 ppm Cu-CuSO₄、硫酸銅濃度に換算して 1.76 ppm CuSO₄、48 時間生存限界が 0.4 ppm Cu、同じく 1.00 ppm CuSO₄ となり、毎日水の更新を行なっていたためか低温にも拘わらず低い値を示している。我々の亜急性死を来す濃度、例えば 30 日以内に死ぬ濃度はコイでは 0.16 ppm 以上、キンギョでは 0.24~0.42 ppm 以上であり、コイの方が抵抗力は小さい。30 日以上生存しうる濃度は個体差によるごく少数の例外もあるが、コイでは 0.08 ppm、キンギョで 0.16~0.17 ppm で、やはりコイの方が弱い。

これらの値は 24 時間あるいは 48 時間 TLm という急性中毒死の値の約 1/10~1/20 で、多分 48 時間 TLm の 1/10 位になるだろう。従って 48 時間 TLm の 1/10 を許容量にとるなら魚はその中で 1 カ月は生き残るのであろう。ただしそれ以上生存しうるかどうか、成長は順調かどうか、摂餌や繁殖は保証されているかどうかは別である。

硫酸銅濃度と成長

コイやキンギョが 30 日以上も生存出来るような低い濃度でも、すでに成長の抑制が始まっている。キンギョ

では 0.08 ppm で体長と体重の成長率の増加分は対照群の 1/3 に低下している。コイでは 0.008 ppm では体重も体長も対照群よりよい成長を示しており、これは研究すべき効果であるが、0.024 ppm 以上では対照群より低い値になる。従って魚が 30 日以上生存し得て、見かけ上健康そうに見える濃度でも成長はすでに抑制され始めていることは明らかである。短時間内の死を手がかりとして決めた濃度よりも、30 日生存しても成長が抑制されることを手がかりとした濃度の方が低い値になることは明らかである。48 時間で急性中毒死する濃度と比較するとキンギョで約 1/13、コイで約 1/50 という小さい値になる。48 時間 TLm の 1/10 を安全濃度とすると魚の成長に障害があるだろう。

硫酸銅濃度と摂餌量

本研究でみられた症状の中で、摂餌量は最も鋭敏に影響を受けるものであった。コイは 0.008 ppm で摂餌量の減少を来した。この濃度では全個体とも 30 日以上生存し、体成長は対照群よりもよいのに、摂餌量は減っている。この値は 48 時間 TLm の約 1/100 という小さい値であり、このように低い濃度ですでに影響を受け始めているのでは、48 時間 TLm の 1/10 というような値では魚の健康は守れないだろう。もしこれより鋭敏な現象があるなら、それを手がかりとして安全濃度を決定すべきである。

数種の銅化合物の毒性

銅化合物の毒性は水の硬度や共存物質、例えばチオ硫酸ソーダや CO_3^{--} 、水の pH などによって変動するが、化合物の種類によっても変わる。我々は 2 ppm の濃度の種々な銅化合物でコイの平均致死時間を調べた (Table 4)。死魚はいずれも体色が黒化し、体表や鰓から粘液の分泌があった。比較のために表には銅だけの濃度も示しておいた。臭化第 2 銅から酢酸銅までは 2 価であ

るから、2 価の方が 1 価よりも毒性が強い。銅濃度と毒性とが比例するようにはみえない。各化合物には特有な薬理作用があるのであろう。従って化合物の形がわかっている時はそれを示し、銅濃度量だけで示さないようにしなければならない。但しさまざまな形の化合物が混在しているような時は銅濃度量で表示しなければならなくなるだろう。例えば狩谷等 (1969) が用いたメッキ液の毒性を表示しようとする場合である。

銅化合物の薬理作用

人では慢性中毒も銅欠乏症もみられない。しかし中毒すれば肝臓、脾臓や腎臓に病変が現われる。銅は生理的に必要であり、その代謝経路があるので慢性中毒にはかかりにくいのかもかもしれない。

魚類に対する硫酸銅の薬理作用のメカニズムは明らかではないが、他の動物に対する作用から推測できる。人の急性中毒の時は粘膜刺激作用があり、流涎、嘔気、嘔吐などがあり、これは口腔や胃の粘膜への作用である。この作用を利用して催吐剤として用いられた。消化管の粘膜を腐蝕し、下痢を起こさせる。粘膜の腐蝕の結果そこから硫酸銅の吸収が多くなり急性中毒死する。魚である濃度以上になると急に生存日数が短くなるのはこのような作用のためだろう。稀い液では収斂作用がある。従って治療的か中毒的かは投与量に左右される。これらの作用からみて魚では鰓粘膜への作用、粘液の分泌、粘液への硫酸銅の吸着と粘液の物理化学的性質の変化が考えられ、呼吸障害を来すこともありうる。体表の粘液の分泌の促進も粘膜への作用の現われである。摂餌量の変化は消化管への作用の現われともみられる。消化管の粘膜の収斂あるいは腐蝕により、食欲の減退が起こりうるだろう。消化管内の消化酵素への作用もあって、これが消化と吸収を障害するだろう。

引用文献

- Davis, H. S. 1961. Culture and diseases of game fishes. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, x, 332 pp, 55 figs.
- Duijn, C. van. 1956. Disease of fishes. Waterlife. London. xiii, 174 pp.
- 広崎芳次, 福井洗一, 吉田利男, 小島忠雄, 岩本米吉, 志村和子. 1963. 鹹水性白点病虫の消長. 日本水産学会講演要旨, 62.
- 狩谷貞二, 芳賀克子, 芳賀秀雄, 津田 勉. 1967. 水質汚濁斃死魚の死因判定法について. V. 銅による斃死. 日本水産学会誌, 33(9): 818-824.
- . 1961. 水質汚濁斃死魚の死因判定法について. XI. スズメッキ液による斃死. 日本水産学会誌, 35(12): 1172-1178.
- Kingsbury, O. R., and G. C. Embury. 1932. The

Table 4. Survival of carp treated by solutions (2 ppm) of 7 different copper compounds. The period of survival in hours shows the mean of five fish tested.

Compound	Cu concentration (ppm)	Survival period (hours)
CuBr ₂	0.569	3
CuCl ₂	0.945	3
Cu(NO ₃) ₂	0.678	3.5
CuSO ₄	0.796	6.5
Cu(CH ₃ COO) ₂	0.700	9.5
CuBr	0.886	31.0
CuCl	1.284	31.0

- prevention and control of hatchery diseases by treating the water supply. Albany, N. Y. State Conserv. Dept. 16 pp.
- O'Donnell, D. J. 1943. Control of *Hydrodictyon reticulatus* in small ponds. Trans. Amer. Fish. Soc. 73: 52-62.
- 大谷武夫, 薄井与兵衛, 木俣正夫, 石川亀好. 1939. 水中に溶存する化学物質の魚介類に及ぼす影響 (第1報). 日水会誌, 7(5): 281-287.
- Surber, E. W. 1943. Weed control in hardwater ponds with copper sulphate and sodium arsenite. Trans. 8th N. Am. Wildl. Conf., 132-140.
- 田端健二・西川克夫. 1969. 水産動物に対する数種重金属錯体の低毒性について. 日水会年会講演要旨, 98.
- 堤俊夫. 1964. 海水魚の飼育と魚病について. I. *Benedenia* の生態とその病害防除に関する研究. 日水会年会講演要旨, 24.

(東京都港区港南 東京水産大学)