

## 電解質水溶液が魚体の K, Na 代謝におよぼす影響 第2報

舟木行雄・佐藤美恵子

### Effect of Electrolyte-solution on Potassium and Sodium Metabolism of Fish (Part 2)

Yukio Funaki. Mieko Satō

#### 緒言

自然界においては、淡水魚は環境水中の電解質の種類と濃度に順応して生活している。しかし、一般に淡水(総電解質が500mg/l以下の場合をいう)の浸透圧は非常に低い(氷点降下 $\Delta$ は0.02°C以下)。したがって、淡水魚はその external environment に比較してはるかに高張な internal environment の homoiosmocity を保つために絶えず低張尿により水を排出するとともに external environment から電解質の能動的な取り込みをおこなっている。

著者らは第1報<sup>1)</sup>において4種の試液すなわち、NaCl, KCl, NaCl と KCl の等モル混合のそれぞれの水溶液(0.0154mol/l)および純水(脱イオン水)中にコイ、ヒメダカ、日本産ウナギおよびフランス産ウナギを24時間生活させた結果、Kを含む試液に死魚が多く出現し、また、電解質の種類によって魚体中のK, Na濃度に変化のあることを認めた。

本報は第1報を基本に NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, KCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> および K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> の0.0154mol/l<sup>1)</sup>水溶液と、これら6種を2種ずつ組み合わせたものと、純水および水道水(試験直前まで訓練飼育していた飼水と同等のもの)を対照として合計23種の試液中にそれぞれコイを24時間生活させ、魚体中のK, Na濃度変化、試液中のK, Na濃度変化および生活状態などを比較検討したので報告する。

#### 実験方法

##### I 材料

1. 供試魚: 入手したヤマトコイ(長野県上田市塩田に於て1980年5月23日採卵のもの)の稚魚を農林水産省東海区水産研究所で飼育した)を約4ヶ月間本学において日本農産工業K.K製、コイ用飼料第4号を給餌して飼

育し、飼料の影響を無くするため30時間絶食させたものを供試魚とした。供試魚の体格を次に示す。

平均体重: 15.32g (S.D=1.88)

平均体長: 8.07cm (S.D=0.41)

肥満度: 29.10 (体重g×1000/体長cm<sup>3</sup>)

2. 電解質水溶液の調製: 関東化学K.K製試薬特級のNaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, KCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> およびK<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>の再結晶し常法により乾燥したもののそれぞれを0.0154mol/lの濃度になるように調製した(以下上記6種の試液を基本液という)。また6種の各基本液を1/2量ずつとって2種を組み合わせる混合液とした。したがって各混合液中の各電解質濃度は基本液の電解質の1/2になる。各イオンと純水および水道水を次の記号で表わした。

S: Na<sup>+</sup>, P: K<sup>+</sup>, c: Cl<sup>-</sup>, s: SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

p: HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, W: 純水, control: 水道水

したがって基本液は表1のようになる。また、各試液の濃度と浸透圧を表2に示す。

表1 基本液とその記号

基本液	記号	基本液	記号
NaCl	Sc	KCl	Pc
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ss	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ps
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	Sp	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	Pp

##### II 方法

33×28×12cmのポリ塩化ビニル容器23個に瀑気装置を設置し、各試液を各容器に5lずつ入れ、各容器ごと(30分間隔で)に供試魚8尾を入れて試液温度23°Cで生活させた。

24時間後、入れた時の順序に従って各容器の供試魚を取り出し、生存魚と死魚の尾数を確認し、生存魚は無傷即殺してから体表面を脱イオン水で洗浄し、ガーゼで軽く拭い、体長と体重を測定し、4尾を全魚体中のK, Na定量試料に、他の4尾を鰓中のK, Na定量用にした。

全魚体試料と鰓試料用の尾数の分配は、全部生存魚か全部死魚の場合は4尾ずつにしたが、死魚が偶数の場合は生存魚と死魚を同数とし、奇数の場合は全魚体試料に生存魚が1尾多く、鰓試料用に死魚が1尾多くなるように分配した。

また、供試魚生活後の各試液の一部を採取して東洋沼紙 No.6 で濾過し K と Na を定量した。

### III 定量法

全魚体試料4尾は1尾ずつ硝酸一過塩素酸法<sup>2)</sup>で湿式灰化した後純水で一定量にしたものを定量の試料にした。

一方、他の4尾は鰓を摘出し、1尾分ずつ全魚体試料の方法に準じて定量の試料にした。

K と Na の定量は炎光度計 ANA 10L (東京光電 K. K. 製) によっておこなった。

表 2 試液の濃度

試液	ppm	mOsm/l	atm(23°C)
Sc	900.9	30.8	0.748
Ss	1093.4	46.2	1.124
Sp	1093.4	46.2	1.124
ScSs	997.2	38.5	0.934
ScSp	997.2	38.5	0.934
SsSp	1093.4	46.2	1.124
Pc	1147.3	30.8	0.748
Ps	1339.8	46.2	1.124
Pp	1339.8	46.2	1.124
PcPs	1243.6	38.5	0.934
PcPp	1243.6	38.5	0.934
PsPp	1339.8	46.2	1.124
ScPc	1024.1	30.8	0.748
ScPs	1120.4	38.5	0.934
ScPp	1120.4	38.5	0.934
SsPc	1120.4	38.5	0.934
SsPs	1216.6	46.2	1.124
SsPp	1216.6	46.2	1.124
SpPc	1120.4	38.5	0.934
SpPs	1216.6	46.2	1.124
SpPp	1216.6	46.2	1.124
W	—	—	—
control	—	—	—

## 結果・考察

### 1. 死魚出現状況

各試液の死魚出現数を表 3 に示す。

死魚の出現しなかった試液は Na 化合物のみの試液と、PcPs, W および control であった。

死魚出現は PcPs を除いた K<sup>+</sup> を含む試液にみられた。特に Sp を除いて HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> の含まれている試液は全数が死魚となった。この結果はリンゲル液に Sr と Ca を含ませ Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> を 1mol/l 添加すると Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> を添加しなかった場合と比べて Sr, Ca とともに 10 倍透入すること

表 3 死魚出現状況

試液	n	試液	n
Sc	0	PsPp	8
Ss	0	ScPc	3
Sp	0	ScPs	3
ScSs	0	ScPp	8
ScSp	0	SsPc	3
SsSp	0	SsPs	5
Pc	7	SsPp	8
Ps	6	SpPc	8
Pp	8	SpPs	8
PcPs	0	SpPp	8
PcPp	8	W	0
		control	0

n: 尾数

がニジマスの鰓を験体とした実験で認められたことに関連していることと考えられる<sup>3)</sup>。特に HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> は生体内での動向が激しく、その化合物の変化や体液の調節には大きな影響を与えている<sup>4)5)</sup>。また、Na, K に対応する Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> の混液はほぼ半数の死魚を出現した。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> の取り込みは魚体の SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> の sulphate pool に左右されることが大きく、鰓から透入されることが認められている<sup>6)</sup>。

### 2. 全魚体中の K および Na 濃度

表 4 から、生存魚と死魚を比較すると、全体的には K 濃度の差より Na 濃度の差の方が大きかった。同一試液の生存魚と死魚を比較すると、K 濃度は大差が認められなかったが Na 濃度は死魚の方が低い傾向がみられた。本実験において魚体中から Na が減少すると死に致る結果をみると、細胞外液濃度の変化か、イオンの交換が生じたか、また生体膜の Na 輸送と膜平衡の不全によるものと考えられる<sup>7),8),9),10)</sup>。

淡水魚においては Na<sup>+</sup> と Cl<sup>-</sup> の取り込みは必ずしも同時におこなわれず、Na<sup>+</sup> と NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> と HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> が交換することから考えると陽イオン、陰イオンとも他のイオンとある条件のもとで交換される可能性のあることが推察される<sup>11),12)</sup>。

また、死魚の方が多かった試液 (Pc, Ps) の生存魚と死魚を比較すると、K 濃度は死魚の方が高く、他の試液の死魚と比較しても最高濃度を示した。Na 濃度は生存魚の方が高かったが、他の試液の生存魚と比較しても最低濃度を示した。

死魚が半数出現の試液 (SsPc, SsPs) の生存魚の K 濃度は比較的 low Na 濃度は高い値を示した。このことは生存魚が死魚の排出した K, Na を吸収しこの濃度を保っていたものと考えられる<sup>13),14),15)</sup>。

### 3. 鰓中の K および Na 濃度

表 5 から鰓中の K, Na 濃度をみると全体的には生存

表 4 全魚体中の K, Na 濃度 (meq/100g) および K/Na 値  
生存魚 死魚

	K	Na	K/Na	n	K	Na	K/Na	n
Sc	3.44±0.68	3.80±0.34	0.89±0.10	4	—	—	—	—
Ss	3.73±0.24	3.97±0.18	0.94±0.05	4	—	—	—	—
Sp	3.51±0.18	3.81±0.31	0.93±0.11	4	—	—	—	—
ScSs	3.29±0.24	4.51±0.37	0.73±0.05	4	—	—	—	—
ScSp	3.03±0.14	4.62±0.33	0.66±0.07	4	—	—	—	—
SsSp	3.32±0.07	4.70±0.31	0.71±0.05	4	—	—	—	—
Pc	3.78	3.55	1.06	1	3.81±0.03	2.85±0.11	1.34±0.05	3
Ps	3.87	3.51	1.10	1	4.07±0.31	2.88±0.11	1.41±0.06	3
Pp	—	—	—	—	3.50±0.23	2.69±0.22	1.31±0.14	4
PcPs	3.64±0.16	4.37±0.37	0.84±0.06	4	—	—	—	—
PcPp	—	—	—	—	3.35±0.16	3.20±0.13	1.05±0.05	4
PsPp	—	—	—	—	3.36±0.28	3.20±0.28	1.07±0.13	4
ScPc	3.71±0.28	3.67±0.35	1.02±0.17	3	3.41	3.83	0.89	1
ScPs	3.78±0.15	3.74±0.41	1.08±0.15	3	3.65	2.93	1.25	1
ScPp	—	—	—	—	3.21±0.14	3.16±0.25	1.03±0.10	4
SsPc	3.44±0.10	3.72±0.41	0.93±0.13	2	3.32±0.11	3.13±0.05	1.06±0.01	2
SsPs	3.30±0.28	4.07±0.22	0.81±0.11	2	3.34±0.00	3.04±0.12	1.10±0.04	2
SsPp	—	—	—	—	3.50±0.69	2.45±0.48	1.52±0.68	4
SpPc	—	—	—	—	3.24±0.04	3.30±0.28	0.99±0.08	4
SpPs	—	—	—	—	3.20±0.11	2.97±0.14	1.08±0.02	4
SpPp	—	—	—	—	3.26±0.06	2.75±0.22	1.19±0.11	4
W	3.64±0.06	3.95±0.30	0.93±0.09	4	—	—	—	—
control	3.64±0.65	4.94±0.35	0.73±0.08	4	—	—	—	—

± : S. D n : 尾数

表 5 鯉中の K, Na 濃度 (meq/100g) および K/Na 値  
生存魚 死魚

	K	Na	K/Na	n	K	Na	K/Na	n
Sc	1.91±0.12	3.24±0.29	0.59±0.09	4	—	—	—	—
Ss	1.99±0.36	3.40±0.30	0.59±0.13	4	—	—	—	—
Sp	1.96±0.24	2.96±0.24	0.66±0.04	4	—	—	—	—
ScSs	1.53±0.16	3.03±0.64	0.52±0.08	4	—	—	—	—
ScSp	1.57±0.10	3.37±0.52	0.47±0.05	4	—	—	—	—
SsSp	1.45±0.08	3.29±0.23	0.45±0.04	4	—	—	—	—
Pc	—	—	—	—	1.46±0.13	1.41±0.39	1.09±0.25	4
Ps	1.97	2.46	0.80	1	1.04±0.14	1.22±0.23	0.86±0.06	3
Pp	—	—	—	—	1.00±0.16	1.24±0.24	0.82±0.10	4
PcPs	1.99±0.39	3.63±0.28	0.55±0.08	4	—	—	—	—
PcPp	—	—	—	—	0.73±0.04	1.38±0.18	0.54±0.07	4
PsPp	—	—	—	—	0.95±0.20	2.69±0.32	0.35±0.05	4
ScPc	1.77±0.16	2.88±0.37	0.63±0.13	2	1.21±0.86	1.72±1.19	0.70±0.01	2
ScPs	1.73±0.14	2.85±0.11	0.61±0.02	2	1.06±0.64	1.43±0.37	0.71±0.26	2
ScPp	—	—	—	—	0.83±0.11	2.38±0.42	0.36±0.03	4
SsPc	1.83±0.12	3.40±0.46	0.55±0.10	3	0.66	1.38	0.45	1
SsPs	1.57	2.80	0.56	1	0.81±0.12	1.66±0.10	0.49±0.09	3
SsPp	—	—	—	—	0.93±0.21	2.11±0.48	0.44±0.03	4
SpPc	—	—	—	—	0.59±0.10	1.53±0.30	0.39±0.03	4
SpPs	—	—	—	—	0.77±0.24	1.85±0.47	0.41±0.02	4
SpPp	—	—	—	—	0.80±0.21	2.05±0.39	0.39±0.04	4
W	1.99±0.20	3.05±0.43	0.66±0.05	4	—	—	—	—
control	1.27±0.06	3.27±0.15	0.38±0.04	4	—	—	—	—

± : S. D n : 尾数

魚の方が両者とも高い濃度であるがK/Na値は大差がなかった。このことは魚体における鰓の存在の重要性を示している。鰓は電解質出納の器官であり、Na<sup>+</sup>の active transport が脳下垂体後葉ホルモンによって促進されている水生動物として体内外共に重要な役割を持っている<sup>16),17),18),19)</sup>。しかし、K/Na 値を control と比較すると生存魚、死魚を通して大部分のものが高かった。これは、電解質の balance のとれた control と他の試液の非常な unbalance な(不自然な)ものとのちがいから生じた結果である<sup>20),21)</sup>。

#### 4. 試液の K と Na の濃度変化

表 6 24時間生活後の試液 5l 中の K, Na 濃度 (meq) および変化量 (±meq)

試液	K		Na	
	濃度	変化量	濃度	変化量
Sc	0.20	+0.20	79.35	+2.35
Ss	0.17	+0.17	79.35	+2.35
Sp	0.17	+0.17	79.35	+2.35
ScSs	0.19	+0.19	79.35	+2.35
ScSp	0.18	+0.18	79.35	+2.35
SsSp	0.19	+0.19	79.35	+2.35
Pc	76.92	-0.08	2.99	+2.99
Ps	78.85	+0.85	3.52	+2.99
Pp	76.92	-0.08	4.20	+2.99
PcPs	78.85	+1.85	2.15	+2.15
PcPp	76.92	-0.08	4.09	+4.09
PsPp	76.92	-0.08	3.68	+3.68
ScPc	37.18	-1.32	42.39	+3.89
ScPs	37.18	-1.32	42.39	+3.89
ScPp	37.18	-1.32	42.39	+3.89
SsPc	37.18	-1.32	42.39	+3.89
SsPs	37.18	-1.32	42.39	+3.89
SsPp	35.90	-2.6	42.39	+3.89
SpPc	35.90	-2.6	42.39	+3.89
SpPs	35.90	-2.6	42.39	+3.89
SpPp	35.90	-2.6	42.39	+3.89
W	0.10	+0.10	0.27	+0.27
control	0.38	+0.09	4.25	+8.85

表 6 に示すように、供試魚が24時間生活した後の試液のK濃度は Ps を除いた死魚の出現しなかったすべての試液は上昇していた。Na 濃度はすべての試液に上昇がみられ、その増減量はKより Na の方が多かった。これは全魚体の示す K/Na 値の意味と一致している(表 4)。尚、control の供試魚生活前の K と Na 濃度はそれぞれ 0.288meq/5l と 3.402meq/5l であった。

自然界には有り得ない不自然な環境のもとに生活させ

られた供試魚は internal environment をどのような機構で保とうとしているのか。これらに関する研究は1920年代からなされている<sup>17),18),22)</sup>。基本的にはhomeostasis の考え方であろうが、その限界が internal environment と external environment の物質やイオンの濃度などの兼ね合いによることと解釈される<sup>23)</sup>。その例として酵素の activity (Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>ATPase など) とイオンの種類、浸透圧濃度などとの関連が考えられる<sup>24)</sup>。

#### 要 約

濃度を 0.0154mol/l に調製した NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, KCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> および K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> の水溶液と、これら6種から半量ずつとって2種を組み合わせた混合液および純水と水道水の合計23種の試液5l中に平均体重15.32gのコイを各試液に8尾ずつ24時間生活させた結果

1. Na 化合物のみの試液、KCl と K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> の混液、純水および水道水には死魚が出現しなかった。HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>を含む試液は Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> を除いてすべてが全数死魚となった。K<sup>+</sup>を含む試液は KCl と K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> の混液を除いて死魚が出現した。

2. 全魚体中の K, Na 濃度は、生存魚と死魚を比較すると、K濃度の差より Na 濃度の差の方が大きく、同一試液の生存魚と死魚を比較すると、K濃度は大差がなかったが Na 濃度は死魚の方が低かった。生存魚より死魚の方が多かった KCl 試液と K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 試液の魚体を比較すると、K濃度は死魚の方が高く、他の試液の死魚と比較しても高かった。Na 濃度は生存魚の方が高かったが他の試液の生存魚よりは低かった。

3. 鰓中のKと Na 濃度は生存魚の方が両者とも濃度が高かったが、K/Na 値に大差がなかったことは鰓の重要性を示している。

4. 供試魚が24時間生活した後の試液の K と Na 濃度変化は、死魚が出現しなかった試液のK濃度はK<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 試液を除いてすべてが高くなっていった。Na 濃度はすべての試液が高くなっていった。

本研究をおこなうに当たり、供試魚のコイを提供して下さり、また種々御助言をいただいた農林水産省、東海区水産研究所の竹内昌昭氏にこの紙面をかりて謝意を表します。

#### 文 献

- 1) 舟木行雄, 鈴木秀子: 駒沢女子短期大学研究紀要第10号 17-20 (1976)

- 2) 小原哲二郎ら：食品分析ハンドブック，261—263，建帛社（1975）
- 3) Schiffman, R. H. : J. Cell. Comp. Physiol., 65. 1-6 (1969)
- 4) 舟木行雄：駒沢女子短期大学研究紀要第10号 9-15 (1976)
- 5) 舟木行雄：駒沢女子短期大学研究紀要第11号43-49 (1977)
- 6) Rosenthal, H. L. : Biol. Bull., 120. 183-191(1961)
- 7) Ussing, H. H. : Nature, 160 (4060). 262-263 (1947)
- 8) Ussing, H. H. & Zerahn, K. : Acta. Physiol. Scand., 23. 111 (1951)
- 9) Donnan, F. G. : Z. Elektro Chem., 17. 572 (1911)
- 10) Donnan, F. G. : Chem. Rev., 1. 73 (1924)
- 11) Garcia Romeu, F. & Maetz, J. : J. Gen. Physiol., 47. 1195-1207 (1964)
- 12) Maetz, J. & Garcia Romeu, F. : J. Gen. Physiol., 47. 1209-1227 (1964)
- 13) Evans, D. H. : J. Exp. Biol., 47. 513-517 (1967 a)
- 14) Evans, D. H. : J. Exp. Biol., 47. 519-524 (1967 b)
- 15) Evans, D. H. : J. Exp. Biol., 47. 525-534 (1967 c)
- 16) Meier, A. H. & Fleming, W. R. : Comp. Biochem. Physiol., 6. 215-232 (1962)
- 17) Smith, H. W. : J. Biol. Chem., 81. 727-742(1929)
- 18) Smith, H. W. : Ann. J. Physiol., 93. 480-505 (1930)
- 19) Krogh, A. : Cambridge Univ. Press (1939)
- 20) Motais, R. et al : J. Gen. Physiol., 50. 391-422 (1966)
- 21) Motais, R. : Ann. Inst. Oceanogr. Paris., 45. 1-83 (1977)
- 22) Copeland, D. E. : J. Morphol., 82. 201-227 (1948)
- 23) Cannon, W. B. : The wisdom of the Body. Norton (1932)
- 24) 舟木行雄：駒沢女子短期大学研究紀要 第9号 3-10 (1975)