

コイ (*Cyprinus carpio*) の血液性状に 及ぼす塩化ナトリウムの影響 (第1報)

樋口 文夫*

要 旨

淡水魚であるコイを高濃度の塩分(塩化ナトリウム)に直接曝露して、塩分のコイに及ぼす生理学的影響について検討した。今回は成長量、血清無機塩量を中心にして検討し、以下の結果を得た。

1) 実験水の塩分の濃度段階は対照区(0%), 実験Ⅰ区(0.50%), Ⅱ区(0.75%), Ⅲ区(1.00%), Ⅳ区(1.25%), Ⅴ区(1.50%)の計6段階に設定した。2) 供試魚は急性的にⅤ区でへい死あるいは衰弱した状態となった。3) 体重、肥満度の増減率は曝露初期、各区ともに減少し、特にⅢ、Ⅳ、Ⅴ区は他の区と比較して高い減少傾向を示した。4) 血液水分含量は曝露初期にⅢ、Ⅳ、Ⅴ区で減少し、その後21日目には曝露前の値にもどった。5) 血清ナトリウム、クロライド量は曝露後急激に増加し、7、14日目に最大値を示した。その後21日目になると、実験Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ区では実験水の塩分濃度に応じた値で安定した。6) カルシウム量はⅢ、Ⅳ区で高い値を示した。

以上のことから実験水の塩分濃度が0.75%以上になると血清ナトリウム、クロライド量が急激に上昇し、生理学的に影響を受けることが推測された。

1. はじめに

コイは狭塩性魚類であり、ウナギ、ボラ、マス等の広塩性魚類と比較して外界水の塩分濃度の変化、特に高濃度の塩分に対して大きく影響を受ける。この外界水の塩分変化に対する影響については多くの魚種で主に浸透圧調節機能を解析した研究報告がある^{1,2)}。

しかしながらコイが生息環境、すなわち淡水より高い塩分濃度に曝露されたとき、生理学的にどのような影響を受けるのかについての研究報告は少ないようである^{3,4,5)}。そこで筆者は無機塩の中で塩化ナトリウムを用い、その塩分の高濃度レベルにおいてコイの血液性状に及ぼす影響について検討した。今回は血液性状の血清無機塩類を中心に検討を加えたので報告する。

2. 材料及び方法

2-1 供試魚

群馬県産のコイ (*Cyprinus carpio*)、1年魚を用

いた。供試尾数は198であった。その体長、体重、肥満度(体重 $\times 10^3$ /体長³)の平均値、標準偏差を区ごとに表1に示した。これらの供試魚は恒温室内(室温20℃)に設置した流水式の水槽に6ヶ月間順化飼育したものであった。順化飼育期間中、水温は約18℃、給餌はコイ用の配合飼料を1日当たり体重の約1%の割合で与えた。ただし実験開始2日前から給餌を中止した。

2-2 実験装置

実験水槽には容量30ℓの硬質ガラス円筒水槽を用い、実験水量を20ℓとした。また実験は止水方式で行い、通気はエアストーンを用いて十分に行った。

2-3 実験水の調整

塩化ナトリウム(NaCl)の濃度の設定は、脱塩素処理した水道水20ℓにNaCl(特級)を0.50~1.50%(W/V)の範囲で等しく5段階になるように調整した。また対照として脱塩素処理した水道水を用いた。これらを実験Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ区及び対照区とした。なお実験水は

Effects of sodium chloride on the haematological characteristics of carp (*Cyprinus carpio*) (I)

*Fumio Higuchi, 横浜市公害研究所水質部門

3～4日に1回の割合で更新した。

2-4 実験方法

実験期間は35日であり、各区の検査尾数は対照区、

表一 供試魚の体長、体重、肥満度

区	尾数	体 長		体 重		肥 満 度	
		\bar{x}	u	\bar{x}	u	\bar{x}	u
曝露前	10	8.16	0.23	15.58	1.33	28.68	2.01
対照区	37	7.89	0.48	12.85	2.24	26.06	2.03
I	37	7.78	0.43	12.49	1.99	26.38	1.72
II	37	7.91	0.53	12.91	2.47	25.90	1.80
実験区 III	37	7.86	0.47	12.66	2.20	25.85	1.37
IV	30	7.92	0.35	12.80	1.86	25.66	1.45
V	10	7.81	0.36	12.85	1.81	27.02	2.23
合 計	198	7.88	0.45	12.89	2.17	26.17	1.84

注) \bar{x} は平均値, u は不偏分散からの標準偏差を示す。
表2, 3も同様である。

実験 I～IV 区が37尾, 曝露前とV区が10尾であった。実験開始時, 順化水槽より採取したコイは体長, 体重測定後, ただちに各区の実験水に入れられた。所定の検査は曝露前と曝露後1日目, 4日目, 7日目と14日目, 21日目と35日目で各区約5尾を採取して計7回実施した。また給餌は曝露4日目より行い, 1日当り体重の約0.5%与えた。

2-5 検査項目と方法

成長量の測定は鱗剥離による個体識別法によって同一個体の体長, 体重を計8回測定した。

血液検査において採血は抗凝固処置しないディスプレイ注射筒, 静脈針を用いて行った。採血は尾部血管から行った。採血した血液は, 一部血液水分含量測定用に供し, 他は遠心分離器(3,000回転, 30分)にかけ血清を得て, 無機塩測定用に供した。

血清中の無機塩の測定項目は, ナトリウム, カリウム, カルシウム, マグネシウムでありそれぞれ原子吸光分析法によった。クロライドはシャルズ・シャルズ変法(臨床検査用キッド, 和光純薬製)を, また血液水分含量は毛細管重量法を用いて測定した。

表一 2 実験水の水质分析結果

区	水温(°C)		pH		DO (mg/l)		NH ₄ -N(mg/l)		導伝率 mS/cm		塩 分(‰)	
	\bar{x}	u	\bar{x}	u	\bar{x}	u	\bar{x}	u	\bar{x}	u	\bar{x}	u
対 照 区	19.0	0.8	7.64	0.21	8.04	0.94	0.67	0.48	0.23	0.02	ND	
I	19.0	0.8	7.39	1.27	7.39	1.27	0.57	0.50	9.64	0.52	4.67	0.35
II	19.0	0.8	7.89	0.85	7.89	0.85	0.63	0.52	13.58	0.63	7.17	0.34
実験区 III	19.0	0.8	7.80	0.83	7.80	0.83	0.64	0.50	17.74	0.95	9.76	0.44
IV	18.6	0.8	7.50	0.42	7.50	0.42	1.11	1.18	21.57	0.91	12.27	0.33
V	17.8	0.3	6.50	0.00	6.50	0.00	0.41	0.57	24.25	0.07	14.70	0.00

区	ナトリウム (mmol/l)		カリウム (mmol/l)		カルシウム (mmol/l)		マグネシウム (mmol/l)		クロライド (mmol/l)	
	\bar{x}	u	\bar{x}	u	\bar{x}	u	\bar{x}	u	\bar{x}	u
対 照 区	0.46	0.09	0.05	0.01	0.32	0.09	0.26	0.02	0.45	0.05
I	85.59	9.32	0.10	0.02	0.38	0.10	0.26	0.02	89.53	16.17
II	125.00	10.63	0.10	0.03	0.38	0.11	0.26	0.02	137.84	14.24
実験区 III	160.28	8.08	0.11	0.03	0.37	0.11	0.26	0.02	177.93	15.72
IV	196.41	12.15	0.10	0.03	0.45	0.08	0.26	0.03	223.02	18.78
V	221.90	3.96	0.13	0.03	0.33	0.01	0.28	0.02	276.40	4.67

各区の実験水の分析は pH が比色法、溶存酸素量 (DO) はウインクラーアジカナトリウム変法、アンモニア態窒素 (NH₄-N) はインドフェノール法、電気伝導度は電導度計 (TOA CM-5B) を、塩分はサリノメーター (オートラボ S-T 計 602) を用いて行った。実験水中の無機塩類は原子吸光法を用い、塩素はモール法を用いて分析した。

2-6 解析方法

供試魚の検査結果は検査日ごとに対照区と各実験区の平均値、標準偏差 (不偏分散から算出) を求め両者を 2 つの平均値の比較 (例数の少ない場合) の t 検定で統計学的に比較検討した。

3. 結果

3-1 実験水の分析結果

各区の水質分析結果を表-2 に示した。

これによると水温は 17.8~19.0°C, pH は 7.0~7.9, DO は 6.5~8.0mg/l, NH₄-N は 0.41~1.11mg/l の範囲で各区とも大差ないものであった。

次に塩分の濃度は 1%以下~14.7%, 電気伝導度は 0.23~24.25mS/cm の範囲であった。

各区の実験水中の無機塩はナトリウム量が 0.5~221.9mmol/l, クロライド量が 0.5~221.9mmol/l の範囲であった。他の無機塩のカリウム, カルシウム, マグネシウム量は各区とも大差ないものであった。

3-2 供試魚の摂餌, 行動, 外部形態

実験期間中の摂餌状況は対照区, 実験区 I, II 区が同じ摂餌量を示し, III 区は曝露 14 日目より対照区に比較して若干少ない摂餌量を示した。IV 区は 21 日目より摂餌量が著しく低下した。

行動, 外部形態等の所見は, 対照区と実験 I, II 区は行動, 外部形態に異常は認められなかったが, III 区では曝露 21, 35 日目に鰓の色調がやや貧血の所見を示した。これに対して IV 区は群れ, 遊泳行動の鈍化を示し, 外部形態では曝露 14, 21 日目より鰭の周辺部が融解, 両眼球の軽度の突出, さらに 1 個体で体側上皮の糜爛等の所見を示した。鰓は貧血状態の所見を呈していた。V 区は曝露 1 日目で 3 尾が死亡, 他の 7 尾のうち 3 尾が横転し瀕死の状態, 他は狂奔等の明らかな行動異常を示した。

3-3 成長量

各区の供試魚の体重, 肥満度の経日変化について, 曝露前を 100 としたときの増減率で示したのが図-1, 2 である。

体重の増減率は曝露期間中, 対照区と比較して II, III 区は同様な増減傾向を示した。それに比較して III, IV, V 区は曝露 1 日目で V, IV, III 区の順に体重の低下が著るしかつた。それ以後, III 区は 4 日目まで体重の低下が続き, 7 日, 14 日目になると対照区と差がなくなるまで体重は回復していたが, 28 日目から再び低下する傾向がみられた。一方, IV 区は 7 日目まで体重の低下が続き, それ以後, 体重はさほど回復せず, 21 日目を境として急激に低下していった。以上の結果を統計学的に解析すると, 曝露 1 日目が III, V 区で, その後, 4, 14, 28

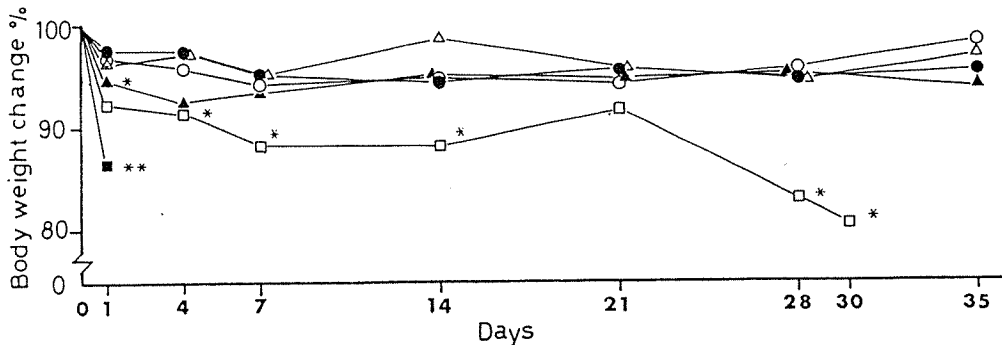


図-1 体重の増減率〔(曝露後/曝露前の体重)×100〕の経日変化

○-○: 対照区, ●-●: 実験区 I, △-△: II, ▲-▲: III,
□-□: IV, ■-■: V.

*, **: P<0.05, P<0.01

35日目のⅣ区で対照区と比較して有意差を示した。

次に肥満度の増減率は体重のそれと同様な傾向を示した。すなわち曝露1日目はⅤ, Ⅳ, Ⅲ区の順で高い低下傾向を示し, Ⅲ区は4日目以後に回復したが, 14日目を境として再び低下していった。またⅣ区は曝露1日目より低下が続き21日目を境として急激に低下した。統計学的には曝露1日目でⅤ区, 4, 21, 28, 35日目でⅣ区が対照区に比して有意に低い値を示した。

3-4 血液水分含量

各区の血液水分含量の経日変化を図-3に示した。

これによると曝露前の血液水分含量は87.8%であったが, 曝露1日目はどの区も若干低下していった。この傾向は14日目まで続くが, 特にⅠ, Ⅲ, Ⅳ区で低い値を示した。しかしながら曝露21日目は全区とも90%前後の高い値を示した。これは35日目でも同様であったが, Ⅳ区は他より若干低下していた。統計学的に対照区と実

験区とを比較すると, 曝露7日目がⅣ区, 14日目がⅡ区で有意差を示した。

3-5 ナトリウム量

各区の血清ナトリウム量の経日変化を図-4に示した。曝露前の血清ナトリウム量は136.5 mmol/lであったが, 曝露1日目にⅡ区を除いて他の区はいずれも高い値を示した。特に実験水の塩分濃度が高いⅣ, Ⅴ区は著るしく増加した。Ⅴ区は血清ナトリウム量は実験水のナトリウム量の221.9 mmol/lとほぼ同じ高い値を示した。曝露4, 7日目になると, Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ区が対照区に比して高い値を示す傾向にあり, Ⅳ区は247.7 mmol/lと最大値を示した。14, 21日目になるとナトリウム量は漸減していったが, 21日以後, Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ区は実験水のナトリウムの濃度段階に応じた高い値で安定した。統計学的に対照区と各区の値を比較すると, 曝露1日目はⅤ区, 4日目はⅣ区, 7日目ではⅡ, Ⅳ区,

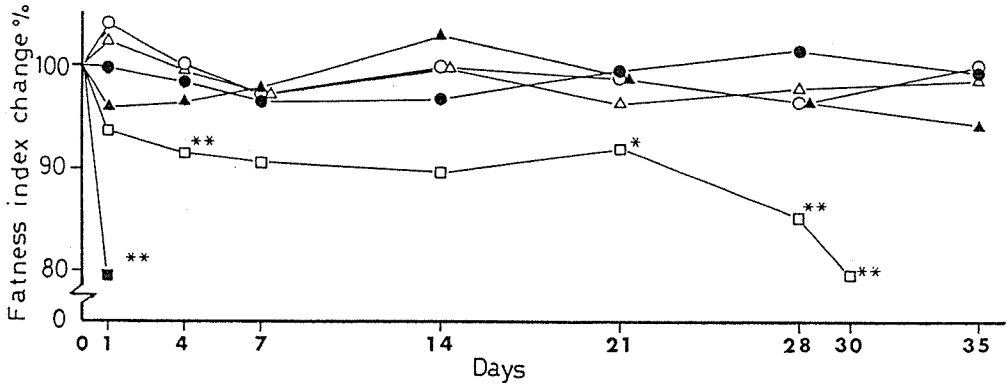


図-2 肥満度の増減率〔(曝露後の肥満度/曝露前の肥満度)×100〕の経日変化

○-○: 対照区, ●-●: 実験区 I, △-△: II, ▲-▲: III, □-□: IV, ■-■: V.

*, **: P<0.05, P<0.01

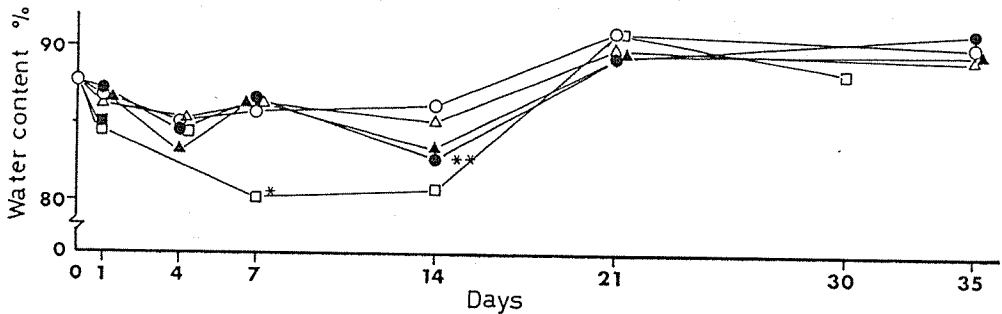


図-3 血液水分含量の経日変化

○-○: 対照区, ●-●: 実験区 I, △-△: II, ▲-▲: III, □-□: IV, ■-■: V.

*, **: P<0.05, P<0.01

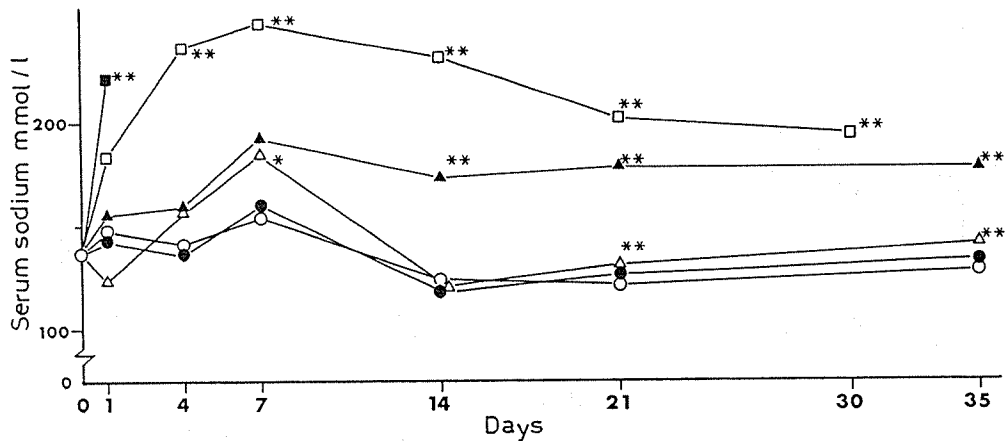


図-4 血清ナトリウム量の経日変化

-○-: 対照区, -●-: 実験区 I, -△-: II, -▲-: III,
 -□-: IV, -■-: V.
 *, **: $P < 0.05$, $P < 0.01$

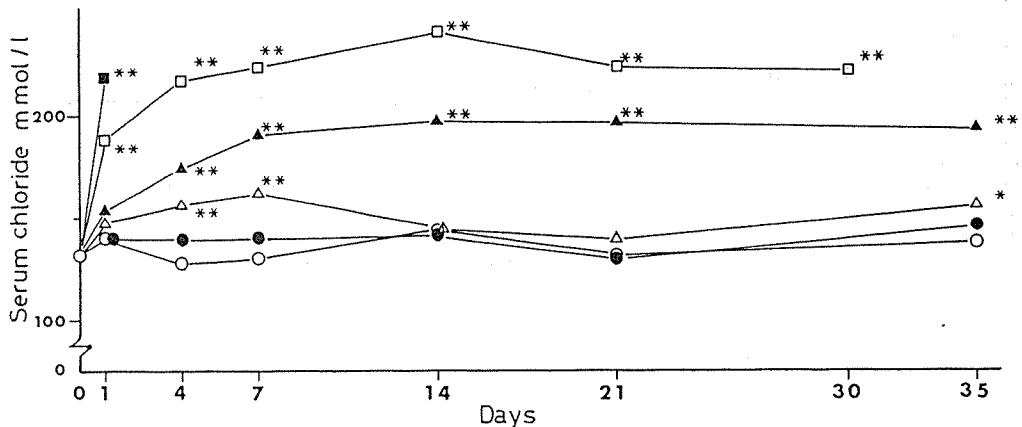


図-5 血清クロライド量の経日変化

-○-: 対照区, -●-: 実験区 I, -△-: II, -▲-: III,
 -□-: IV, -■-: V.
 *, **: $P < 0.05$, $P < 0.01$

14日目はⅢ, Ⅳ区, また21, 30, 35日目ではⅡ, Ⅲ, Ⅳ区で有意差を示し, いずれも対照区より高い値を示した。

3-6 クロライド量

各区の血清クロライド量の経日変化を図-5に示した。曝露前の血清クロライド量は 130.9 mmol/l であったが, 曝露1日目で全区が増加し, 特にⅣ, Ⅴ区は高い値を示した。ちなみにⅤ区は 218.7 mmol/l の値であった。それ以後, Ⅲ, Ⅳ区は14日目まで漸増していった。このときⅣ区は 240.0 mmol/l と著るしく高い値を示した。これらの傾向はナトリウム量の変化と同様であった。しかしながらクロライド量はナトリウム量

に比べて最大値に達するまでの時間が長かった。曝露21日以後, クロライド量は実験水のクロライド量の濃度段階に応じた高い値で安定した。統計学的に対照区と他の区を比較すると, 曝露1日目はⅣ, Ⅴ区, 4日目はⅡ, Ⅲ, Ⅳ区, それ以後の30, 35日目はⅡ, Ⅲ, Ⅳ区でそれぞれ有意差を示し, いずれも対照区より高い値であった。

3-7 カルシウム量

各区の血清カルシウム量の経日変化を図-6に示した。曝露前の血清カルシウム量は, 2.85 mmol/l であった。曝露1日目のⅣ, Ⅴ区はそれより高い値を示し, また対照区との比較でも高かった。Ⅳ区は4日目以後, 30日目まで対照区より高い値を示した。Ⅱ, Ⅲ区は対照区

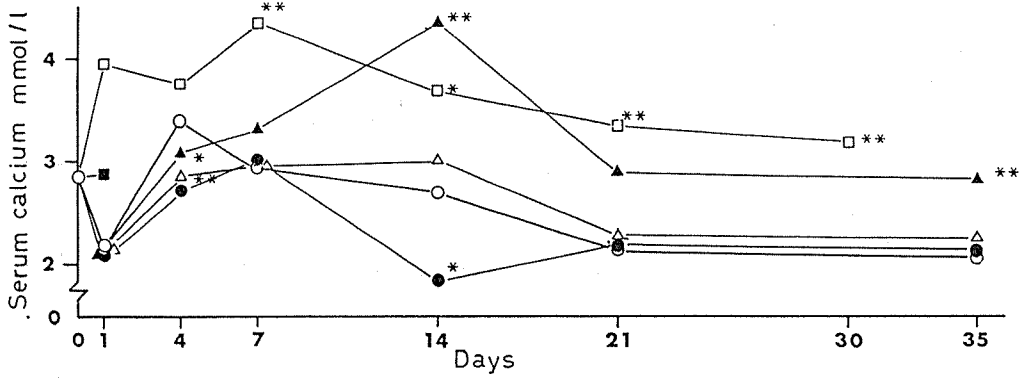


図-6 血清カルシウム量の経日変化

-○-: 対照区, -●-: 実験区 I, -△-: II, -▲-: III,
 -□-: IV, -■-: V.
 *, **: P<0.05, P<0.01

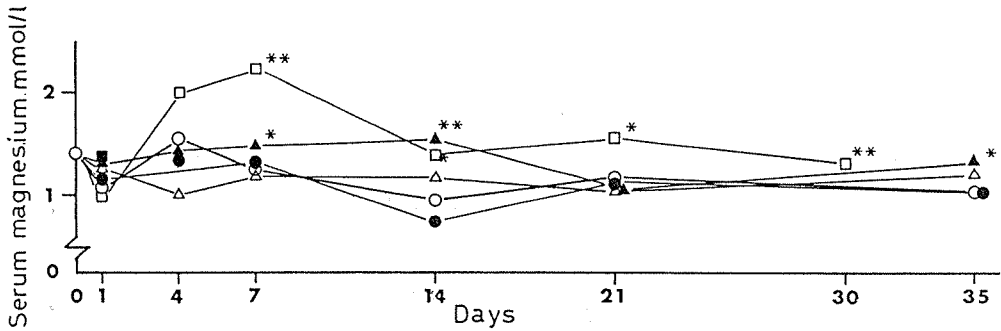


図-7 血清マグネシウム量の経日変化

-○-: 対照区, -●-: 実験区 I, -△-: II, -▲-: III,
 -□-: IV, -■-: V.
 *, **: P<0.05, P<0.01

表-3 血清カリウム量の経日変化

単位 (mmol/ℓ)

区	0		1		4		7		14		21		35	
	\bar{x}	<i>u</i>	\bar{x}	<i>u</i>	\bar{x}	<i>u</i>	\bar{x}	<i>u</i>	\bar{x}	<i>u</i>	\bar{x}	<i>u</i>	\bar{x}	<i>u</i>
対照区	5.93	2.05	3.39	1.34	5.93	2.41	5.90	3.12	6.12	1.64	5.58	3.70	2.86	0.92
I			3.89	2.04	4.87	1.75	3.70	2.07	5.20	2.64	2.88	1.63	2.73	1.85
II			4.85	0.50	5.13	2.90	4.80	2.49	3.69	1.40	3.39	0.81	1.92	0.78
実験区			5.01	2.20	5.52	2.49	4.53	3.23	6.73	2.38	4.28	1.87	2.73	0.66
IV					5.69	0.93			4.79	2.93	2.65	1.28	1.24	0.23
V			8.30	1.59										

注) ()内の数字は尾数を示す。

※: p<0.05, ただしIV区は30日目で実験を終了し, 対照区35日目の値と統計学的に比較検討した。

と比較して4日目は低い値、それ以後、高い値を示した。これらを統計学的に解析すると曝露4日目でⅡ、Ⅲ区、7日目以後、Ⅲ、Ⅳ区で有意差を示した。

3-8 マグネシウム量

血清マグネシウム量の経日変化を図-7に示した。

曝露1日目は曝露前の値に比して若干低い値を示した。しかしⅣ区を除く他の区は対照区に比較して高い値であった。さらにⅣ区は4日目以後、常に高い値、またⅢ区は7、14、35日目が対照区に比して高い値であった。統計学的には7、14日目のⅢ、Ⅳ区、21日目はⅣ区、30日目はⅣ区、35日目はⅢ区で有意差を示した。

3-9 カリウム量

血清カリウム量の経日変化については表-3に示した。

曝露1日目にV区をのぞいていずれの区も曝露前より低い値であった。4、7、14日目では実験区によって高い値あるいは低い値を示し一定の傾向がみられなかった。統計学的に対照区と他の区を比較すると30日目のⅣ区が有意差を示した。

4. 考 察

淡水魚の血液浸透圧は約300 mmol/l/l, 淡水のそれは0.1~1.0 mOsm/lである。淡水魚の浸透圧は淡水のそれと比べて著るしく高い。その結果、鰓、口腔上皮等から水の浸入と塩類の損失の危険にさらされている。そのため失われた塩は鰓が能動的に取り入れ、また腎臓では細尿管での塩の再吸収が行われている。さらに浸入した水は多量の薄い尿として排出される。この様な浸透圧調節機構によって塩類、ひいては浸透圧が一定に保たれ、生体の恒常性が維持されているのである。これら体液浸透圧を維持している主要な塩の成分は、1価イオンのナトリウム、クロライドである。これらは鰓で調節され、他のカルシウム、マグネシウム等の2価イオンは腎臓、腸で調節されている²⁾。

この様な浸透圧調節機構をもつ魚類が、高濃度の塩分に曝露されたときの様な反応を示すかの研究は数多くある。特に塩分上昇時の血液性状への影響についてはコイ^{3,4,6)}、キンギョ^{7,8)}、うなぎ^{9,10)}、ニジマス¹¹⁾等での研究報告がある。無機塩に関して血中ナトリウム、クロライド量は曝露後上昇をはじめ、数日経過後にもとの値にもどるかあるいは高い値で安定したものとなる。今回の結果でも両者ともに曝露後、急激に上昇し7日目に最大値を示した。その後、やや低下するが14日目は実験水の塩分濃度に応じた値で定常状態になったことなど先の報告とほぼ一致したものとなった。

次に実験水と血清中のナトリウム量、クロライド量の

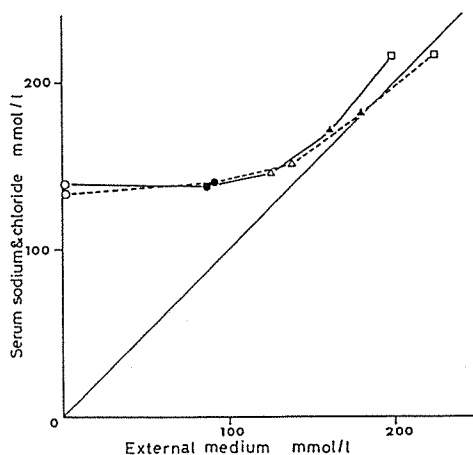


図-8 実験水と血清のナトリウム量、クロライド量の関係

—: 血清ナトリウム, - - -: 血清クロライド
直線は等濃度線を示す。
-○-: 対照区, -●-: 実験区 I, -△-: II, -▲-: III,
-□-: IV, -■-: V.

関係を見るために、各区の合計の平均値をもとに図示したのが図-8である。実験I、II区までは軽度の上昇がみられたが、III区になると急激に上昇し、IV区まで等濃度線と同じ上昇傾向をとった。この様にII区、すなわち実験水の塩分濃度が0.75%をこえると血清中の濃度も急激に上昇することを示した。一般に淡水魚の浸透圧は0.5~0.7%の塩化ナトリウム溶液に相当するといわれている¹²⁾。これらのことから外界水の塩分濃度が体液浸透圧より高くなると外界の塩分が一方的に体内に浸入する。つまり鰓などによるナトリウム等のイオンの流入、流出の調節機構がある濃度をこえると十分働かず、魚体の内部環境の攪乱を惹起するものと推測された。

しかしながらHEGABら⁶⁾は淡水から徐々に塩分を上昇させていくと1.5%まで生存できることを報告し、また川本の総説¹³⁾でも直接的に適応させたものと、漸時適応させたものとは体液浸透圧の上昇の割合が異なることを記しており、曝露条件によって塩分耐性に若干の違いが生ずると考えられる。

2価イオン、カルシウム、マグネシウム量は対照区と実験I、II区ではあまり差はなく、III、IV区で比較的高い値を示し、両者は同様な変化傾向を示した。これはCHANら⁹⁾も指摘しているところである。一方、カルシウムは細胞膜の透過性を変化させ、生体の防御機構に関与することが知られている^{13,14)}。今回の結果も高塩分濃度に曝露された時、その反応が出現したと示唆されるが、その詳細については不明であった。

次に血液水分含量は、高濃度の塩分に曝露されると脱水状態になりその量が低下することが知られている。尾崎ら¹⁵⁾はコイを $\frac{1}{4}$ 海水に直接入れたとき、血液水分含量が低下し、以後、この塩分濃度に順応するのに15日かかるとしている。今回は血液水分含量がもとの値に回復するのに21日を要した。次に体重の増減率をみると、曝露初期の体重の減少傾向が高濃度段階で高かったことなど脱水状態が生じたことが推測され、またそれに帰因して血清中の無機塩の量を曝露初期により高めたものと考えられた。

最後に、体重、肥満度は生理学的観点から総合的に評価する場合、有用な測定項目である。今回、これらの結果と外観等の所見とをあわせて検討すると、曝露初期、特に高濃度段階で脱水症状によって体重、肥満度の減少をきたし、V区の1.5%の塩分濃度では前述のように外観的に明らかな所見を呈した。亜急性的にはV区を除く他の区の体重、肥満度は若干回復するが、Ⅲ、Ⅳ区は再び減少傾向を示し、Ⅳ区の1.25%の塩分濃度で外観的に著明な所見を呈した。

これらのことから外界の塩分濃度が0.75%以上になると血清無機塩は増加し、さらに生理学的に影響を受けることが示唆された。今後、この点に関して血液形態、血液化学的側面から検討を加えていきたい。

5. ま と め

コイの血液性状に及ぼす塩分(塩化ナトリウム)の影響について検討した。今回は血清無機塩を中心に解析し、以下の結果を得た。

- 1) 各実験Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ区の塩分濃度は0.50、0.75、1.00、1.25、1.50%であった。
- 2) 供試魚は急性的にⅤ区で、亜急性的にはⅣ区で、へい死あるいは衰弱した状態となった。
- 3) 体重及び肥満度は曝露初期減少した。特にⅢ、Ⅳ、Ⅴ区で著るしかった。
- 4) 血液水分含量は曝露初期にⅢ、Ⅳ、Ⅴ区で減少しその後21日目になるともとの値にもどった。
- 5) 血清ナトリウム、クロライド量の経日変化は、曝露後7日、14日目に最大値に達し、21日目以後にやや低下し、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ区では外界水の塩分濃度に応じた値で安定した。
- 6) 血清カルシウム、マグネシウム量は特にカルシウム量がⅢ、Ⅳ区で高い値を示した。

以上のことから外界の塩分濃度が0.75%以上になると血清ナトリウム、クロライド量が急激に増加し、魚体の生理系に影響を及ぼすものと示唆された。

文 献

- 1) V.S. Black : Excretion and Osmoregulation, *The Physiology of Fishes*, 1, 163 ~ 205, (1957)
- 2) 内田清一郎: 浸透圧, 魚類生理, 川本信之編, 318~353, 東京(1977), 恒星社厚生閣
- 3) 樋口文夫: コイ (*Cyprinus carpio*) に及ぼす塩化ナトリウムの急性、亜急性影響, 横浜市公害研究所報, 第4号, 153~160(1979)
- 4) 田村 修, 保田正人, 藤木哲夫: 赤血球などの量的変動による魚類生理状態の判定, I, 日水誌, 28, 504~509(1962)
- 5) 栗倉輝彦: ニジマスの海水に対する抵抗性について(Ⅱ), 魚と卵, 15, 8~13(1964)
- 6) S.A. Hegab, W. Hanke : Electrolyte changes and volume regulatory process in the carp (*Cyprinus carpio*) during osmotic stress, *Comp. Biochem. Physiol.*, 71 A, 157 ~ 164(1982)
- 7) M. Oguri, Y. Ooshima : Early changes in the plasma osmolality and ionic concentrations of rainbow trout and gold fish following direct transfer from fresh water to sea water, *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 43 (11), 1253 ~ 1257(1977)
- 8) S. Umehara, M. Oguri : Effects of environment calcium content on plasma calcium levels in gold fish, *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 44 (8), 827 ~ 833(1978)
- 9) D.K.O. Chan, J.I. Chester, I.A. Henderson & J.C. Rankin : Studies on the experimental alteration of water and electrolyte composition of the eel. *Anguilla anguilla*, *J. Endocr.*, 37 297 ~ 317(1967)
- 10) M. Oide, S. Utida : Changes in water and ion transport in isolated intestine of the eel during salt adaptation and migration, *Marine Biol.*, 1, 102 ~ 106(1967)
- 11) 北島 力, 佐藤正明: ニジマスの海水養殖に関する研究 I, ニジマスの海水順致について, 水産増殖, 13 (1), 29~44(1965)
- 12) 尾崎久雄: 魚類の鰓と鰓, 医学のあゆみ, 64, 712 ~ 719(1968)
- 13) 川本信之: 魚類生理生態学, 307~331, 東京(1975), 恒星社厚生閣
- 14) 尾崎久雄: メダカの食塩水への抵抗力の CaCl_2 による増大, 科学, 31, 594~595(1961)
- 15) 尾崎久雄, 菊地界善: 稀釈海水中のコイの血液水分含量, *J. Tokyo. Univ. Fish.*, 59(1), 27~31(1972)