

어린 송어 (*Mugil cephalus*)의 염분별 삼투조절 능력

이영춘 · 장영진 · 이복규*

부경대학교 양식학과, *동의대학교 생물학과

Osmoregulation Capability of Juvenile Grey Mullet (*Mugil cephalus*) with the Different Salinities

Young Choon LEE, Young Jin CHANG and Bok Kyu LEE*

Department of Aquaculture, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

*Department of Biology, Dong Eui University, Pusan 614-714, Korea

In order to investigate the osmoregulation capability of grey mullet, *Mugil cephalus* with the different salinities, juvenile fish (13.6 ± 0.2 cm TL) stocked in seawater (SW) were abruptly transferred to each experimental group of 0%SW (0‰), 25%SW (7.7‰), 50%SW (16.1‰) and 100%SW (32.8‰), and reared for 60 days. Blood samples were taken by the time schedule after the transfer. Plasma Na^+ , K^+ , Cl^- and osmolality, muscle water content, and the electron microscopical observations of chloride cells were analyzed and made by the time schedule.

In 100%SW, the maintainable levels of plasma Na^+ , K^+ , Cl^- and osmolality were 167.1 ± 7.7 mM/l, 9.7 ± 2.1 mM/l, 137.8 ± 5.6 mM/l and 351 ± 18 mOsm/kg, respectively. These values were significantly changed at 6 h~1 day after the beginning of the experiment with four different salinities. Fish from 0% and 25%SW had lower osmolalities than those of fish from 50% and 100%SW, and showed the hyposmotic regulation pattern. At the end of the experiment (60 days after transfer), however, no significant difference was found in the concentrations of plasma Na^+ , K^+ and Cl^- among four experimental groups. Hematocrit was increased with salinity ($P < 0.01$).

After 10 days, fish from 0% and 25%SW showed the hypertrophy, fusion and edema of epithelial layer in gill lamella. However, at the 15th day, epithelial layer in gill lamella was back to the normal status. On gill of fish from 0%SW, one apical pit held two or three chloride cells in common. Muscle water content was subsequently regulated to near the normal levels within 4 days, and there was no significant difference among four different salinities at the end of the experiment.

Key words : grey mullet, *Mugil cephalus*, different salinities, osmoregulation

서 론

많은 해산 경골어류들은 외해 및 연안에서 산란을 하지만 어린 시기에는 강과 바다가 만나는 기수역이 이들의 보육장으로 이용된다. 기수역은 많은 먹이와 은신처를 제공하지만 조석의 변동에 따라 환경의 변화가 심하여, 이곳에서 서식하는 어류에게 생리적인 문제를 야기할 수 있다 (Dando, 1984). 따라서 기수역에 서식하고 있는 어류들은 생존 또는 성장을 위하여 이러한 환경변화에 적응하여야 하며, 잘 발달된 삼투조절 기능은 이러한 환경 적응의 한 예이다.

경골어류의 삼투조절은 아가미, 소화관 및 신장 등

과 같은 여러 기관에 의해 이루어지고 있으며, 이 중 아가미는 호흡, 삼투조절 및 질소 노폐물의 배설 등 복합적인 기능을 가진 기관으로 알려져 있다 (Laurent and Dunel, 1980; Maina, 1990). 아가미의 상피는 피개세포 (pavement cell), 점액세포 (mucous cell) 및 염세포 (chloride cell) 등과 같은 여러가지 형태의 세포들로 구성되어 있다 (Laurent, 1984). Key and Willmer (1932)가 뱀장어의 아가미에서 염세포를 처음 발견한 이래, 삼투조절과 관련한 염세포의 역할을 구명하고자 연어과 어류 (Richman et al., 1987; Salman and Eddy, 1987; Powell et al., 1994) 및 틸라피아 (Cioni et al., 1991)에서 염분으로서 다른 수역에서 적응하는 동안 염세포의 미세

이 논문은 1995년도 교육부 학술연구조성비 (해양·수산과학 분야)에 의하여 연구되었음.

Table 1. The average daily environmental factors in each experimental group for the 60 days of the experimental period

Treatment	W.T. (°C)	Salinity (‰)	D.O. (ppm)	pH
0% SW	22.6 ± 2.2	0	5.5 ± 0.9	8.5 ± 0.3
25% SW	22.8 ± 2.2	7.7 ± 0.5	4.1 ± 0.9	8.1 ± 0.3
50% SW	22.7 ± 2.2	16.1 ± 0.2	4.3 ± 0.9	8.1 ± 0.3
100% SW	22.7 ± 2.3	32.8 ± 0.2	4.3 ± 0.9	7.9 ± 0.3

Values were presented as mean ± SD (n=60). SW : seawater.

구조 변화에 대한 연구가 이루어져 왔으며, 이들의 연구에서는 주로 해수에 순치시킨 어류의 아가미 상피에 존재하는 염세포의 형태 및 수의 증가를 제시하고 있다. 생활사중 많은 시기를 기수역에서 생활하는 송어, *Mugil cephalus*에 있어서도 염분의 변화에 따른 아가미와 염세포의 구조적 변화가 예상되지만, 이를 증명할만한 실험적 결과는 없다. 이와 같이 염세포의 형태변화는 삼투조절 기능의 변화를 의미하며, 삼투조절의 근본 목적이 체내 이온 농도를 일정하게 유지하는 것이므로 삼투조절과 관련한 이온 조절능력을 파악하는 것은 매우 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 양식 대상종으로서 그 산업적 가치가 인정되는 송어의 삼투조절 능력을 파악하기 위하여, 여러가지 염분에서 송어 혈액의 이온과 삼투질의 농도, 아가미와 염세포의 조직변화 및 근육내 수분함량을 조사하여 서로 비교하였다.

재료 및 방법

1. 실험조건

여러가지 염분에서 송어의 삼투조절 능력을 파악하기 위하여, 50l container box에 여과기 (mesh size 5 µm)로 걸러진 해수 (SW, 32.8 ± 0.2 ‰)를 흘려주면서 사육한 전장 13.6 ± 0.2 cm, 체중 20.0 ± 0.5 g의 실험어를 8개의 수조에 각각 60개씩 수용한 다음, 10일간 먹이를 주면서 안정시켰다. 실험어가 수용후 안정을 되찾고 섭식활동이 활발해졌을 때, 각 수조에 담수를 첨가하여 0% SW (0 ‰), 25% SW (7.7 ± 0.5 ‰), 50% SW (16.1 ± 0.2 ‰) 및 100% SW (32.8 ± 0.2 ‰)로 4개의 염분구를 2반복되도록 설정하여 사육하였다. 각 염분구에는 airlift를 이용한 스펀지 여과장치를 설치하여 사료찌꺼기 및 배설물이 제거되도록 하였다.

실험기간은 60일간으로, 매일 어체중 3~5%의 시판용 잉어사료를 2회로 나누어 공급하고, 2회째 사료공급 2시간 후에 동일한 염분의 사육수로 전량 환수하였다. 실험기간중 각 염분구의 사육환경 조건은 Table 1과 같다.

2. 조사 및 분석

실험개시 0, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 13, 20, 30 및 60일째 각 염분구별로 무작위 추출한 5개체의 실험어로부터 채취한 혈액과 아가미 조직 및 근육을 분석에 이용하였다.

실험어의 미부동맥에서 1 ml 주사기를 이용하여 채혈하고 4°C에서 1시간 방치한 다음, 원심분리 (13,000 rpm, 30초)하여 얻은 혈장에 대하여 이온 농도는 Na⁺/K⁺/Cl⁻ analyzer (Ciba Corning, M664)로, 삼투질 농도는 osmometer (Fisk Model OS)로 측정하였다.

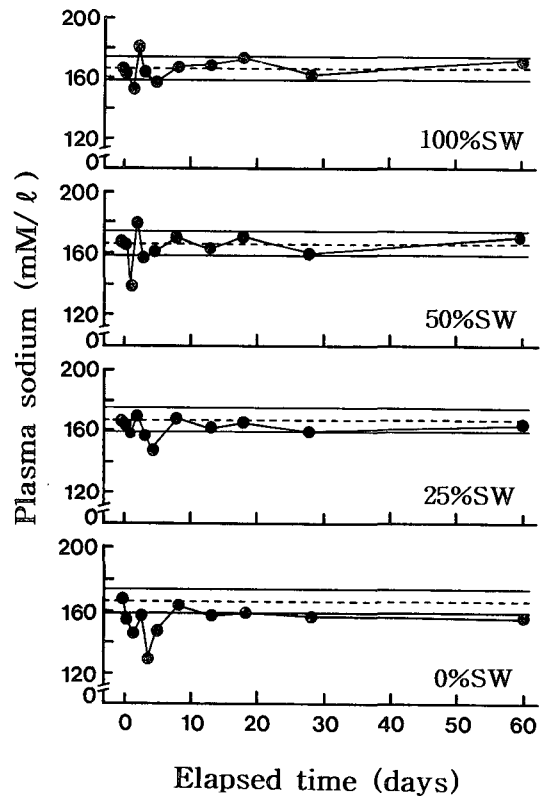


Fig. 1. The effects of salinity on plasma Na⁺ concentration of juvenile grey mullets during the experimental period. Average level in 100% SW is shown as a dotted line. The above and below lines of each dotted line represent maintainable range (standard deviation).

염분별로 아가미의 조직학적 변화를 관찰하기 위하여, 아가미 조직을 Bouin액에 24시간 고정한 다음 수세하였다. 이후 각 농도별 에탄올로 탈수하여 xylene에서 투명화시킨 다음, 파라핀법에 의해 4~5 μm 두께의 절편을 만들고 hematoxylin-eosin으로 이중염색하여 광학현미경으로 관찰하였다. 아가미의 염세포 구조 및 미세변화를 파악하기 위하여는, 아가미 조직을 각 염분구의 실험어로부터 절취한 다음, glutaraldehyde와 OSO_4 에 전고정 및 후고정을 실시하고, 각 농도별 에탄올로 탈수한 후 epon 812로 포매하였다. 이후 만들어진 초박절 절편(60~90 nm)을 uranyl acetate와 lead citrate로 이중염색하여 전자현미경(JEM 1200EX-II, JEOL, Japan)으로 관찰하였다. 어체근육의 수분함량을 비교하기 위하여는 염분구별로 절취된 어체근육을 dry oven (65°C)에 두어 무게가 더 이상 변화하지 않을 때까지 건조시켜 습증량과 건증량의 차이로 수분함량을 계산하였다.

각 실험의 결과들에 대하여는 일원 분산분석과 Duncan의 다중검정(Zar, 1984)을 실시하였다.

결 과

1. 혈장의 이온 농도

Na^+ : 각 염분구의 실험개시시(0일째)에 있어서 송어의 혈장 Na^+ 농도는 $167.1 \pm 7.7 \text{ mM/l}$ 였으며, 이후 사육일수에 따른 염분구별 혈장의 Na^+ 농도변화는 Fig. 1에 나타난 바와 같다. 송어 혈장의 Na^+ 농도는 실험개시후 0.25일째부터 모든 염분구에서 변화폭이 커지는 경향을 나타냈으며, 0% SW에서는 2일째에 128.7 mM/l 로 다른 염분구들에 비해 유의하게 낮은 농도를 나타냈다($P < 0.05$). 이러한 변화를 거친 각 염분구의 혈장 Na^+ 농도는 서서히 정상 수준으로 회복되는 경향을 보여, 50% SW와 100% SW에서는 실험개시후 2일째부터, 0% SW와 25% SW에서는 8일째부터 실험개시시의 혈장 Na^+ 농도와 비슷한 수준을 유지하였으며, 이때부터 혈장 Na^+ 농도는 염분구별로 서로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나, 0% SW에서는 실험초기부터 다른 염분구들에 비해 혈장 Na^+ 농도의 변화폭이 컸으며, 혈장 Na^+ 의 농도변화가 안정되었던 8일 이후에도 계속하여 다른 염분구들 보다 약간 낮은 수준이 유지되었다. 실험종료시인 60일째의 염분별 혈장 Na^+ 농도는 저염분일수록 낮아지는 경향을 보여 100% SW부터 0% SW까지 각각 172.0, 170.5, 164.7 및 154.3 mM/l 였다.

K^+ : 각 염분구의 실험개시시에 있어서 송어의 혈장 K^+ 농도는 $9.7 \pm 2.1 \text{ mM/l}$ 였으며, 이후 사육일수에 따른

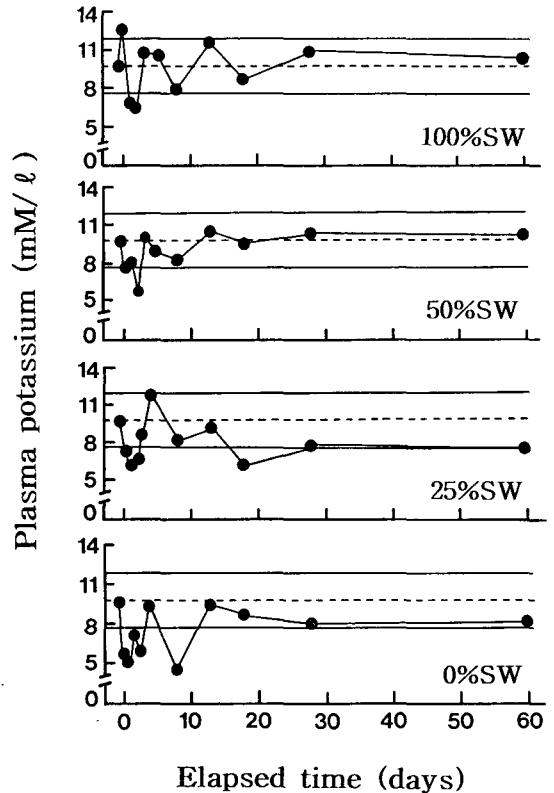


Fig. 2. The effects of salinity on plasma K^+ concentration of juvenile grey mullets during the experimental period. Average level in 100% SW is shown as a dotted line. The above and below lines of each dotted line represent maintainable range (standard deviation).

염분구별 혈장의 K^+ 농도변화는 Fig. 2에 나타난 바와 같다. 송어 혈장의 K^+ 농도는 실험개시후 0.25일째부터 모든 염분구에서 변화폭이 커지는 경향을 나타냈으며, 0% SW에서 8일째에 4.6 mM/l 로 다른 염분구들에 비해 유의하게 낮은 농도를 나타냈다($P < 0.05$). 이러한 변화를 거친 각 염분구의 혈장 K^+ 농도는 서서히 정상 수준으로 회복되는 경향을 보여, 50% SW와 100% SW에서는 실험개시후 2일째부터, 0% SW와 25% SW에서는 8일째부터 실험개시시의 혈장 K^+ 농도와 비슷한 수준을 유지하였으며, 이때부터 혈장 K^+ 농도는 염분구별로 서로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나, 0% SW와 25% SW에서는 실험초기부터 다른 염분구들에 비해 혈장 K^+ 농도의 변화폭이 컸으며, 8일 이후에도 계속하여 실험개시시의 수준 보다 낮은 수준이 유지되었다. 실험종료시인 60일째에 있어서 100% SW부터 0% SW까지의 염분별 혈장 K^+ 농도는 각각 10.3, 10.3, 7.6 및 8.3 mM/l 로 저염분에서 낮은 경향을 보였다.

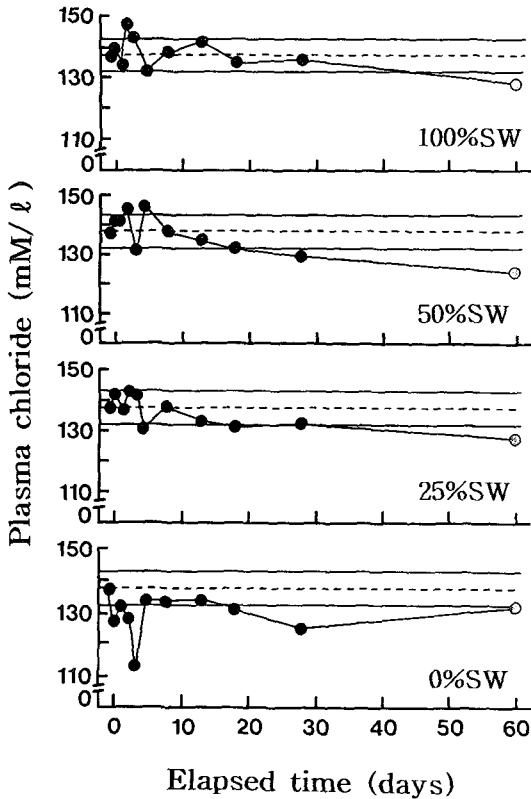


Fig. 3. The effects of salinity on plasma Cl^- concentration of juvenile grey mullets during the experimental period. Average level in 100%SW is shown as a dotted line. The above and below lines of each dotted line represent maintainable range (standard deviation).

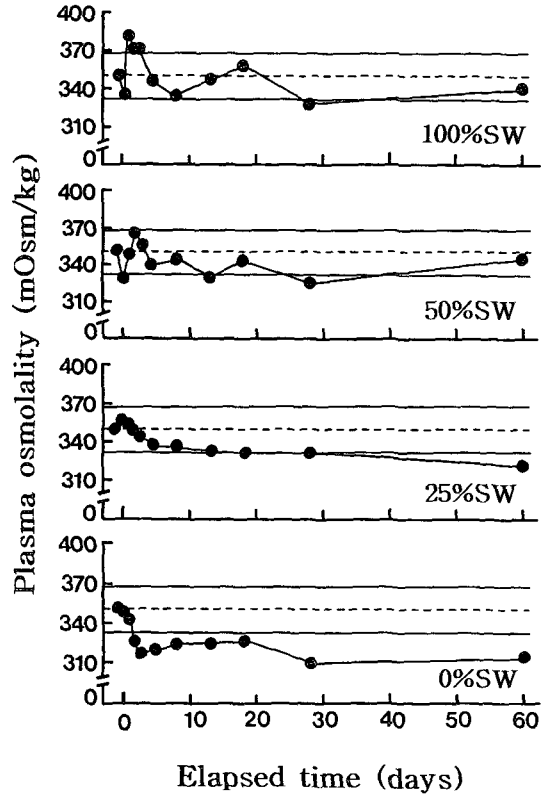


Fig. 4. The effects of salinity on plasma osmolality of juvenile grey mullets during the experimental period. Average level in 100%SW is shown as a dotted line. The above and below lines of each dotted line represent maintainable range (standard deviation).

Cl^- : 각 염분구의 실험개시시에 있어서 송어의 혈장 Cl^- 농도는 $137.8 \pm 5.6 \text{ mM/l}$ 였으며, 이후 사육일수에 따른 염분구별 혈장의 Cl^- 농도변화는 Fig. 3에 나타낸 바와 같다. 송어 혈장의 Cl^- 농도는 실험개시후 1일째부터 모든 염분구에서 변화폭이 커지는 경향을 나타냈으며, 0%SW에서 2일째에 113.0 mM/l 로 다른 염분구들에 비해 유의하게 낮은 농도를 나타냈다 ($P < 0.05$). 이러한 변화를 거친 각 염분구의 혈장 Cl^- 농도는 서서히 정상 수준으로 회복되는 경향을 보여, 실험개시후 2일째부터 실험개시시의 혈장 Cl^- 농도와 비슷한 수준을 유지하였으며, 이때부터 혈장 Cl^- 농도는 염분구별로 서로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나, 모든 염분구에서의 혈장 Cl^- 농도는 계속하여 실험개시시의 수준 보다 약간 낮아지는 경향을 보였다. 실험종료시인 60일째에 있어서 100%SW부터 0%SW까지의 염분별 혈장 Cl^- 농도는 각각 $128.7, 124.8, 128.0$ 및 132.0 mM/l 로 유의차 없이 서로 비슷하게 되었다.

2. 혈장의 삼투질 농도

각 염분구의 실험개시시에 있어서 송어 혈장의 삼투질 농도는 $351 \pm 18 \text{ mOsm/kg}$ 이었으며, 이후 사육일수에 따른 염분구별 혈장 삼투질 농도의 변화는 Fig. 4에 나타낸 바와 같다. 50%SW와 100%SW에서 송어 혈장의 삼투질 농도는 실험개시후 0.25일째부터 조절되기 시작하여 2일째에는 실험개시시의 수준으로 안정되는 경향이었으나, 0%SW와 25%SW에서는 실험개시 직후부터 개시시의 수준 보다 계속하여 낮아지는 경향을 보였다. 특히, 0%SW에서는 실험초기부터 혈장 삼투질 농도가 현저하게 감소하여 2일째에는 319 mOsm/kg 로 다른 염분구에 비하여 유의하게 낮아졌으며 ($P < 0.05$), 이후에 약간 상승하였다가 다시 낮아지는 변화를 보였다. 실험종료시인 60일째의 염분별 혈장 삼투질 농도는 저염분일수록 낮아지는 경향을 보였으며, 100%SW부터 0%SW까지 각각 $340, 344, 322$ 및 316 mOsm/kg 에서 안정됨으로써 저염분에서는 저삼투 조절을 하는 것으로 나타났다.

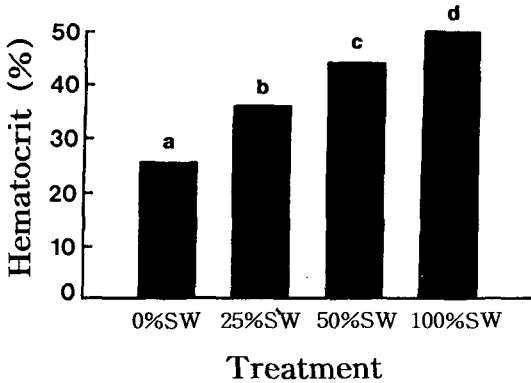


Fig. 5. The effects of salinity on hematocrits of juvenile grey mullets at the end of the experiment. The different alphabetic superscripts are significantly different ($P < 0.01$).

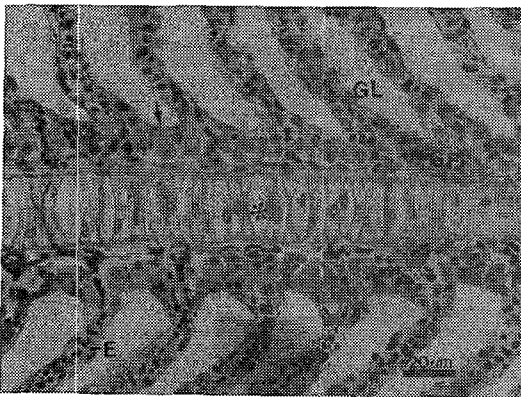


Fig. 6. Longitudinal section of gill filaments and lamellae of juvenile grey mullets at the beginning of experiment. Arrow: chloride cell, E: erythrocyte, *: bony support, GF: gill filament, GL: gill lamella. H-E stain.

3. Hematocrit

실험종료시인 사육 60일째의 염분에 따른 송어 혈액의 hematocrit는 Fig. 5와 같이 0%SW에서 $25.3 \pm 0.3\%$ 로 가장 낮았고, 25%SW에서는 $36.3 \pm 0.4\%$, 50%SW에서는 $44.5 \pm 0.1\%$ 였으며, 100%SW에서는 $49.9 \pm 0.5\%$ 로 가장 높았다 ($P < 0.01$).

4. 아가미 염세포의 조직상

실험개시시의 정상적인 아가미 조직상 (Fig. 6)에 비해 염분의 급격한 감소에 따라 0%SW에서의 아가미 조직은 손상되는 결과를 보였다. 100%SW에서 전 실험기간에 걸쳐 실험개시시와 같은 정상적인 아가미 조직형태 (Fig. 7-1)를 유지한 반면, 실험개시후 5일째에 0%SW에서만

호흡상피의 가벼운 박리와 공포화 현상이 나타나다가, 10일째에는 25%SW와 50%SW에서는 2차새변 (gill lamella)의 손상이 관찰되었다 (Figs. 7-2, 7-3). 특히 0%SW에서는 아가미 세포의 증생으로 2차새변이 유착, 박리 및 괴사되는 조직상을 보였다 (Fig. 7-4). 그러나 사육 15일째부터는 이들 아가미 2차새변의 증생 및 유착현상이 현저하게 감소하여 실험개시시의 정상적인 아가미 조직상으로 회복되었다.

전자현미경을 사용하여 아가미의 염세포에 대한 미세구조를 관찰한 결과, 세포질에는 많은 수의 미토콘드리아와 미세소관계 (tubular system)가 존재하고 있었으며 (Figs. 8-1, 8-2), 특히 미토콘드리아와 미세소관계를 염분별로 비교할 때 염분이 증가함에 따라 그 출현빈도가 증가하였다. 핵은 세포의 기저막 가까이 위치하고 있었으며, 이질 염색질은 주로 핵막을 따라 불규칙하게 분포하였다 (Fig. 8-3). 염세포 주위에는 여러가지 부세포 (accessory cell)들이 관찰되었는데, 그 중에서도 피개세포와 염세포는 tight junction을, 염세포간에는 leaky junction을 하고 있는 것이 관찰되었다. Apical pit를 형성함에 있어 100%SW에서 사육한 송어 아가미의 경우, 한 개의 염세포의 상부 세포막이 하나의 apical pit를 형성하고 있으나, 염분이 감소함에 따라 하나의 apical pit를 여러개의 염세포가 공유하고 있는 모습을 나타냈다 (Fig. 8-4).

5. 근육의 수분함량

각 염분구의 실험개시시에 있어서 송어의 근육중 수분함량은 $78.9 \pm 0.8\%$ 였으며, 이후 사육일수에 따른 염분구별 변화경향은 Fig. 9에 나타난 바와 같다. 송어의 근육중 수분함량은 실험개시후 4일까지는 모든 염분구에서 실험개시시와 비슷한 수준을 유지하였다. 그러나, 8일째에는 정상수준 보다 높은 수분함량을 나타냈다가 다시 낮아지는 경향을 보였으며, 이때부터 근육중 수분함량은 염분구별로 서로 유의한 차이를 보이지 않았다. 실험종료시인 60일째에 있어서 100%SW부터 0%SW까지의 염분별 근육중 수분함량은 각각 78.0, 78.4, 79.1 및 78.4%로 유의차 없이 서로 비슷한 결과를 보임으로써, 환경수의 염분이 달라지더라도 근육의 수분조절이 원활하게 이루어지고 있음을 나타냈다.

고 찰

어류는 환경수의 염분이 감소함에 따라 능동수송에 의한 혈중 이온의 유출이 적어지고, 체액농도 보다 환경수

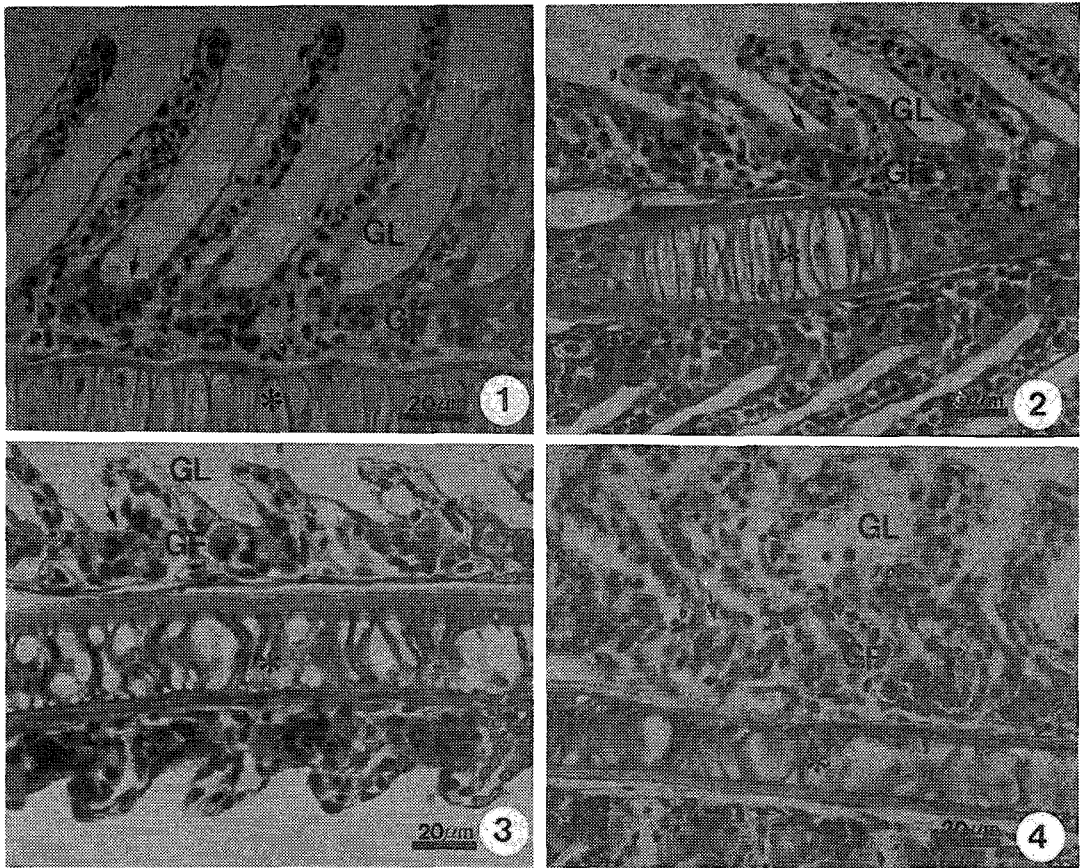


Fig. 7. The effects of salinity on longitudinal section of gill filaments and lamellae of juvenile grey mullets after 10 days of the transfer. 1 : 100%SW, 2 : 25%SW, 3 : 50%SW, 4 : 0%SW. Arrow : chloride cell, * : bony support, GF : gill filament, GL : gill lamella. H-E stain.

의 염분이 더 낮아지면 유출이 억제된다. 그리고 소실된 이온은 수동적 확산이나 오즘의 생성으로 보충된다 (Fletcher, 1978).

본 연구에서 염분별로 어린 승어를 사육한 결과, 0.25 일째부터 모든 염분구에서 혈중 Na^+ 와 K^+ 농도의 변화 폭이 비교적 커지는 경향을 보였으며, 0%SW에서는 큰 폭의 농도 감소를 나타냈다. 그러나, 실험개시후 2일째 이후부터는 혈중 Na^+ 와 Cl^- 농도가 증가함으로써 이온 유출이 억제되고 있음을 알 수 있었다. 0%SW와 25%SW의 낮은 염분에 대한 적응을 의미하는 혈중의 Na^+ 농도의 안정은 8일째부터, K^+ 의 경우는 2일째부터, Cl^- 은 4일째부터인 것으로 나타나, 낮은 염분에 있어서 이온별 농도조절에 시간적 차이를 보였다. 한편, 100%SW의 실험어는 각 측정값의 초기 변화가 전 실험기간중의 변화폭을 약간 벗어났던 것은 전체 변화범위를 평균 \pm 표준편차로 표시한 데에 기인한 것으로 봐지지만, 초기

의 변화폭이 상대적으로 컸던 것은 실험어의 빈번한 취급으로 인한 어체반응의 결과일 가능성이 있으므로, 앞으로 이에 대한 보다 세밀한 실험분석이 필요한 것으로 생각된다.

혈장의 삼투질 농도는 50%SW와 100%SW에서는 실험개시시부터 조절되기 시작하여, 사육 2일째부터는 실험개시시 수준을 기준으로 소폭의 증감을 보이다가 실험종료시에는 거의 실험개시시의 수준을 유지하였다. 그러나 25%SW에서는 실험개시후 0.25일째의 미미한 증가를 제외하고는 실험종료시까지 실험개시시 어체의 삼투질 농도 보다 낮은 수준에서 안정되었고, 실험종료시에도 50%SW와 100%SW에서 보다 낮은 삼투질 농도를 유지하였다. 더욱이, 0%SW에서는 25%SW에서와 같은 경향을 보였으나 다른 염분구들과 비교하여 볼 때, 가장 낮은 혈장 삼투질 농도를 유지하였다. 이와 같이 어체의 삼투질 농도 보다 높은 삼투질 농도를 가진 50%SW와 100%

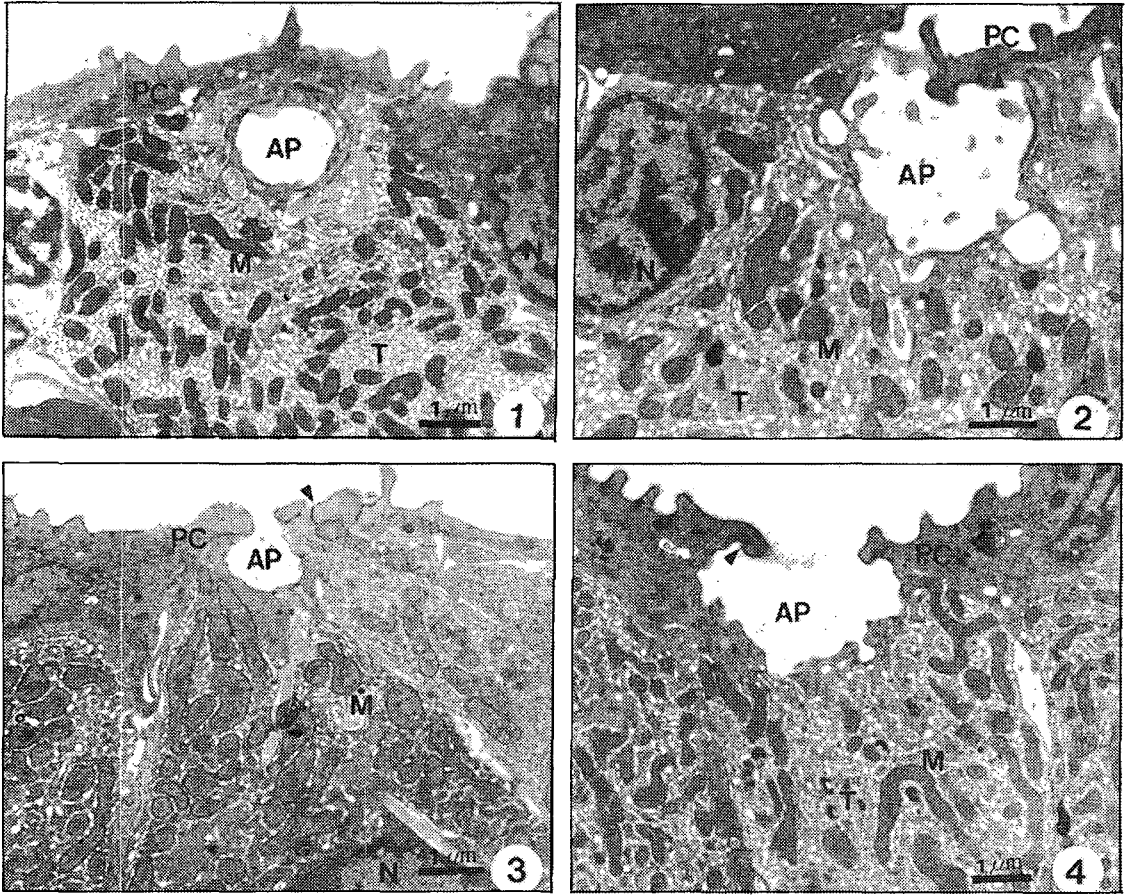


Fig. 8. The effects of salinity on ultrastructure of chloride cells of juvenile grey mullets at the end of the experimental period. 1 : 100%SW, 2 : 25%SW, 3 : 50%SW, 4 : 0%SW. The cytoplasm of chloride cell is almost filled with mitochondria (M) and the tubular system. Numerous mitochondria are interspersed among highly developed tubular system (T). Pavement cells (PC) are visible at the top of micrograph. Tight junctions (arrowheads) are formed between chloride cell and pavement cell. AP : apical pit, N : nucleus.

SW에서는 고삼투 조절 (hyperosmotic regulation)을 하고, 어체의 삼투질 농도 보다 낮은 삼투질 농도를 가진 0% SW와 25%SW에서는 저삼투 조절 (hyposmotic regulation)을 하는 것으로 나타나, 송어의 경우도 삼투조절에 관한 무지개송어의 연구결과 (Madsen and Naamansen, 1989)와 부합되는 경향을 보였다.

한편, Bakke et al. (1991)은 저염분에 적응시킨 대서양 연어, *Salmo salar*에서 hematocrit의 증가는 Na^+ 이나 Cl^- 과 같은 주요 이온들의 농도 감소와 관련되어 있음을 시사하였는데, 이러한 이온들의 농도감소는 조직세포들에 의한 혈중의 수분흡수를 증가시켜, 이에 따라 혈장이 일시적으로 희석되기 때문이라고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 환경수의 염분이 감소함에 따라 hematocrit도 낮

아지는 경향을 나타냄으로써, 전술한 연구자의 견해에 상응되는 결과를 얻었다. 이러한 결과는 낮은 염분에서 수분의 흡수량이 많아져 혈장이 희석되어졌을 가능성을 제시하며, 이는 낮은 염분에서 송어가 저삼투 조절을 한다는 본 연구의 결과로도 설명이 가능하다. 이에 대한 보다 명확한 해석을 위해서는 앞으로 혈구의 크기 및 수에 대한 형태학적 조사가 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

Woo and Fung (1981)은 낮은 염분에 적응시킨 참돔에서 염분의 감소에 따라 근육의 수분함량은 증가한다고 보고하였는데, 본 연구에서도 비슷한 결과를 얻어 0% SW와 25%SW에서 사육 2일째까지 근육의 수분함량이 비교적 높았다. 그러나 실험종류시에는 각 염분구별로 근육의 수분함량이 78.0~79.1%의 범위에서 서로 비슷해

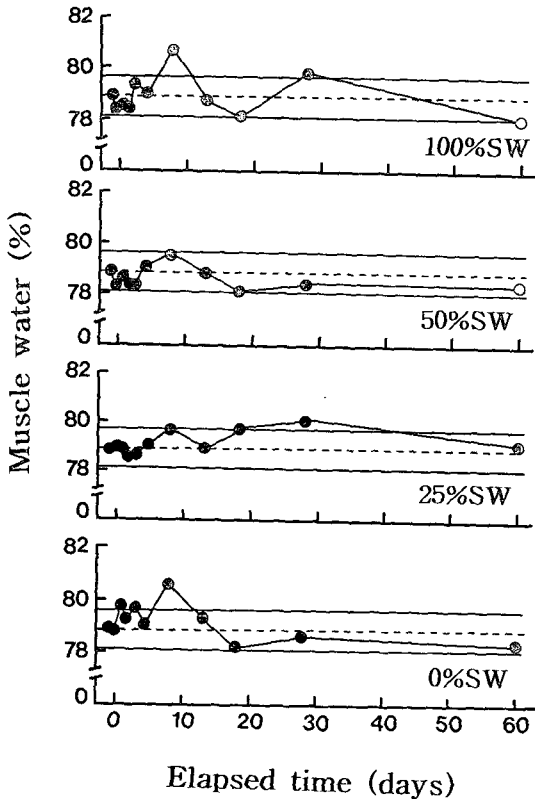


Fig. 9. The effects of salinity on water content in muscle of juvenile grey mullets during the experimental period. Average level in 100% SW is shown as a dotted line. The above and below lines of each dotted line represent maintainable range (standard deviation).

짐으로써, 어체 근육에서는 환경수의 염분변화에 관계없이 수분조절이 원활하게 이루어지는 것으로 추측된다.

어류의 아가미는 호흡 및 질소 노폐물 배설의 중추적인 역할을 수행하는 기관으로, 다른 기관에 비해 그 표면적이 넓기 때문에 환경변화에 가장 민감하게 반응하는 부위로 알려져 있다. 환경의 급격한 변화에 따라 아가미는 1차적으로 2차세편 호흡상피의 박리 및 공포화가 유발된다. 이에 따른 2차적 반응으로서 호흡상피 세포의 과도한 증생으로 인한 유착 및 괴사가 일어나 아가미에 의한 호흡효율의 감소를 초래하게 되고, 심할 경우 폐사할 수 있다. 본 연구에서 0% SW에서는 물론, 25% SW에서 실험개시후 10일째에 아가미 2차세편이 손상되었다가, 15일째에는 다시 정상적인 조직상으로 회복되었다. 그러나 이 기간 동안에 25% SW~100% SW의 염분범위에서 생존율의 차이가 인정되지 않는다 하므로 (Chang et al., 1996), 아가미 조직의 손상이 송어를 폐사시키는 요인이 되지는 않을 것으로 보인다.

이상의 결과들을 종합하여 볼 때, 송어는 환경수의 염분이 일시적으로 급변하거나, 체액 보다 낮은 삼투질 농도가 지속되는 저염분 조건에서도 삼투조절 능력이 매우 우수한 어종인 것으로 판단된다.

요 약

송어, *Mugil cephalus*의 염분별 삼투조절 능력을 알아 보기 위하여, 전장 13.6 ± 0.2 cm, 체중 20.0 ± 0.5 g 크기의 재료를 해수 (SW)에 담수를 첨가하여 만든 0% SW~100% SW에 수용한 다음, 60일간 사육하면서 염분별 혈액의 이온 농도와 삼투질 농도 변화를 조사하고, 아가미와 염세포의 조직학적 변화 및 근육의 수분함량을 비교하였다.

0% SW~25% SW에서 송어 혈장의 Na^+ 와 K^+ 농도는 실험개시후 8일째부터 안정되었다. 0% SW에서의 혈장 Cl^- 농도는 실험개시후 0.5일째 가장 낮았으며 2일 이후부터 안정되었다.

실험종료시에 있어서 송어 혈장의 삼투질 농도는 저염분일수록 낮아지는 경향을 보여, 100% SW부터 0% SW까지 각각 340, 344, 322 및 316 mOsm/kg 수준으로 안정됨으로써, 저염분에서는 저삼투 조절을 하는 것으로 나타났다. 이와 함께 hematocrit도 염분이 낮아짐에 따라 감소하는 경향이였다.

0% SW~50% SW에 10일째 노출된 송어의 아가미에서는 2차세편이 손상되었으며, 특히 0% SW에서는 2차세편의 박리, 유착 및 괴사 등이 관찰되었다. 그러나 손상된 아가미는 이후부터 회복되기 시작하여 사육 15일째에 정상적인 조직상을 나타냈다.

염분에 따른 각 염분구별 어체 근육의 수분함량에는 차이가 없었다.

참 고 문 헌

Bakke, H., V. Bjerknes and A. øvreeide. 1991. Effects of rapid changes in salinity on the osmoregulation of post-smolt Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, 96, 375~382.

Chang, Y.J., Y.C. Lee and B.K. Lee. 1996. Comparison of growth and survival rates in juvenile grey mullets (*Mugil cephalus*) in different salinities. *J. Aquaculture*, 9, 311~320.

Cioni, C., D. de Merich, E. Cataldi and S. Cataudella. 1991. Fine structure of chloride cells in freshwater- and seawater-adapted *Oreochromis niloticus* and *Oreochromis mossambicus*. *J. Fish Biol.*, 39, 197~209.

- Dando, P.R. 1984. Reproduction in estuarine fishes. In *Fish Reproduction Strategies and Tactics* (Potts, G. W. & R.J. Wootton, eds.). Academic Press, London, pp. 155~170.
- Fletcher, C.R. 1978. Osmotic and ionic regulation in the cod, *Gadus callarias*. II- Salt balance. *J. Comp. Physiol.*, 124, 157~168.
- Key, A. and E.N. Willmer. 1932. "Chloride secreting cells" in the gill of fishes with special reference to the common eel. *J. Physiol.*, London, 76, 568~578.
- Laurent, P. 1984. Gill internal morphology. In *Fish Physiology* (Hoar, W.S. & D.J. Randall, eds.). Academic Press, London, pp. 73~183.
- Laurent, P. and S. Dunel. 1980. Morphology of gill epithelia in fish. *Amer. J. Physiol.*, 238, 147~159.
- Madsen, S.S. and E.T. Naamansen. 1989. Plasma ionic regulation and gill Na^+/K^+ -ATPase changes during rapid transfer to sea water of yearling rainbow trout, *Salmo gairdneri*: time course and seasonal variation. *J. Fish Biol.*, 34, 829~840.
- Maina, J.N. 1990. A study of the morphology of the gills of an extreme alkalinity and hyper-osmotic adapted teleost *Oreochromis alcalicus grahami* (Boulenger) with particular emphasis on the ultrastructure of the chloride cells and their modifications with water dilution. A SEM and TEM study. *Anatomy and Embryology*, 181, 83~98.
- Powell, M.D., D.J. Speare and G.M. Wright. 1994. Comparative ultrastructural morphology of lamella epithelial, chloride and mucous cell glycocalyx of the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) gill. *J. Fish Biol.*, 44, 725~730.
- Richman, N.H., S. Tai de Diaz, R.S. Nishioka, P. Prunet and H.A. Bem. 1987. Osmoregulatory and endocrine relationships with chloride cell morphology and density during smoltification in coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *Aquaculture*, 60, 265~285.
- Salman, N.A. and F.B. Eddy. 1987. Response of chloride cell numbers and gill Na^+/K^+ 69-ATPase activity of freshwater rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson) to salt feeding. *Aquaculture*, 61, 41~48.
- Woo, N.Y.S. and A.C.Y. Fung. 1981. Studies on the biology of the red seabream, *Chrysophrys major*. II. Salinity adaptation. *Comp. Biochem. Physiol.*, 69A, 237~242.
- Zar, J.H. 1984. *Biostatistical Analysis*. 2nd eds. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 718 pp.

1996년 10월 29일 접수

1997년 3월 5일 수리