

# 순환여과 사육시스템에서 급격한 염분변화에 따른 송어 (*Mugil cephalus*)와 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*) 치어의 아가미 조직과 체성분 변화

허준욱 · 장영진<sup>+</sup> · 강덕영\* · 이복규\*\*

부경대학교 양식학과, \*국립수산진흥원 거제수산종묘시험장, \*\*동의대학교 생물학과

## Changes of Gill Tissue and Body Composition of Juvenile Grey Mullet (*Mugil cephalus*) and Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) to the Sharp Salinity Change in a Recirculating Rearing System

Jun Wook HUR, Young Jin CHANG<sup>+</sup>, Duck-Young KANG\*  
and Bok Kyu LEE\*\*

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

\*Keoje Marine Hatchery, National Fisheries Research and Development Institute, Keoje 656-840, Korea

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

Changes of gill tissue and body composition of grey mullet (*Mugil cephalus*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by the manipulation of salinity were observed in a recirculating rearing system. Salinity was increased from 0‰ to 33‰ for 1 day and remained for 15 days, thereafter salinity was decreased from 33‰ to 0‰ for 1 day and remained for other 15 days. Any morphological differences of gill lamella in grey mullet were not observed in seawater and freshwater. However, on day 2 in exposure to seawater, Nile tilapia showed the edema and bloodclot in gill lamella. In the case of grey mullet, mitochondria and tubular system of chloride cell were more densely packed according to the salinity increase. The whole body of grey mullet showed no significant differences in moisture content during experimental period. However, moisture content in whole body of the Nile tilapia was significantly decreased when exposed to seawater. Protein content in whole body of grey mullet showed no significant difference between beginning and day 15 of the experiment.

Key words: Grey mullet, Nile tilapia, Salinity, Gill lamella, Chloride cell, Body composition

### 서 론

경골어류의 아가미는 호흡, 삼투압 조절, 질소 노폐물의 배설 및 산-염기 평형조절 등의 역할을 담당하는 복잡한 기관이며 (Laurent and Dunel, 1980; Heisler, 1984; Randall and Daxboeck, 1984; Maina, 1990), 이를 위하여 어류의 아가미 상피는 편평세포 (pavement cell), 점액세포 (mucous cell), 염류세포 (chloride cell) 및 신경상피세포 (neuroepithelial cell) 등 적어도 4가지 다른 형태의 세포들로 구성된다 (Laurent, 1984). 이들 세포중 염류세포는 유럽산 뱀장어 (*Anguilla anguilla*)의 아가미에서 염류 분비세포로서 처음 발견 (Keys and Willmer, 1932)된 이후, 이 세포의 역할을 밝히기 위해 여러 종들을 대상으로 많은 연구가 보고되었다 (Goss et al., 1994; Shikano and Fujio, 1998; Hiroi et al., 1998). 염류세포는 많은 수의 미토콘드리아와 특이하게 발달된 무과립소포체 (smooth-endoplasmic reticulum)를 갖는 형태적 특징을 나타낸다 (Schwerdtfeger and Bereiter-Hahn, 1978). 염류세포는 서식환경의 염분에 따라 주로 1가 이온, 즉 Na<sup>+</sup>와 Cl<sup>-</sup>를 흡수 및 배출하는 것으로 알려져, 최근 염류세포의 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase 활성을 밝히는 데 관심이 집중되고 있다 (Maina, 1990). 또한 염류세포는 서식

수의 염분에 따라 구조가 변화하고 (Hwang, 1987; Pisam et al., 1988), 담수에 서식하는 광염성 어류를 해수로 이동시키면 염류 세포의 크기와 수가 증가하는 것으로 보고되고 있다 (Philpott, 1980).

광염성 어류로 알려져 있는 송어 (*Mugil cephalus*)와 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*)를 사용하여 염분변화에 따른 혈액 성분의 변화에 관한 연구는 일부 보고되어 있으나 (Lee et al., 1997; Chang and Hur, 1999; Hur and Chang, 1999), 아가미 조직과 체성분에 대한 연구결과는 아직 부족한 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 송어와 틸라피아를 재료로 하여 사육수의 급격한 염분 변화에 따른 아가미 조직과 체성분을 조사하였다.

### 재료 및 방법

#### 1. 실험어류와 실험조건

실험에 사용된 송어는 해수에서 종묘생산한 다음 담수순화 사육하던 것이었으며, 틸라피아는 담수에서 계속 사육해 오던 것을 사용하였다. 실험은 순환여과 사육시스템에서 실시하였고, 수조는 FRP 원형수조 (250 L) 6개를 사용하여 3반복이 되도록 하였다. 송어와 틸라피아의 평균전장은 각각 11.5±1.3 cm, 13.0±3.9 cm, 평균체중은 각각 12.4±0.5 g, 30.7±9.3 g이었다. 실험기간은 30일간으로 하였으며, 사육수의 염분조절은 담수 (0‰)로부터 1일만에 33‰의 해수가 되도록 사육수를 교환하였고, 이후 15일 후에 다시 담수로 사육수를 교환하여 15일간 0‰로 유지하였다 (Fig. 1).

<sup>+</sup> Corresponding author: yjchang@pknu.ac.kr  
이 논문은 1995년도 교육부 학술연구조성비(해양·수산과학 분야)에 의하여 연구되었음.

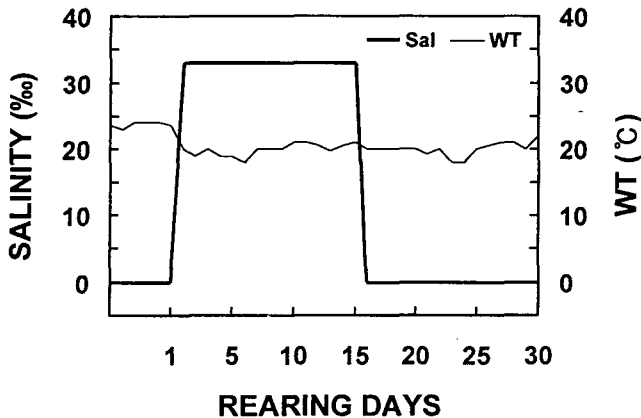


Fig. 1. Controlled salinity and water temperature changes in rearing of grey mullet and Nile tilapia in the experiment.

## 2. 사육환경 및 사육관리

실험개시전 어류를 실험수조에 수용하는 과정중 어류의 이동에 따른 스트레스 영향을 최소화하기 위하여 어체는 7일간 안정시켰고, 섭식이 활발할 때 실험을 실시하였다. 또한 실험어가 스트레스를 받지 않고 안정되도록 실험수조의 상부에 그물을 설치하였다. 실험중 먹이는 잉어종묘용 상품사료 (조단백질 43.0% 이상, 조지방 3.0% 이상, 조섬유 5.0% 이하, 조회분 18.0% 이하, Ca 0.8%, P 1.8%)를 1일 체중당 3% 공급하였다. 사육수는 매일 사료공급 4시간 후에 150~200 L씩 환수하였으며, 산소공급을 위해 충분한 에어레이션을 해 주었다. 실험기간중 수온은  $20.4 \pm 0.8^\circ\text{C}$ 였으며 (Fig. 1), DO는 5.2~7.0 ppm, pH는 7.0~8.0,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 는 0.02~1.25 mg/L,  $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 는 0.0004~0.002 mg/L,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 는 0.017~0.04 mg/L,  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 는 0.065~0.015 mg/L로서, 송어와 틸라피아의 사육에는 지장이 없는 수질이었다 (Cha and Jung, 1994; Kim and Woo, 1988).

## 3. 아가미의 조직학적 관찰

염분변화에 따른 아가미의 조직학적 변화를 관찰하기 위하여, 실험개시시 (0‰)와 해수 (33‰)로 교환하여 2일째 (틸라피아), 15일째 (송어)에 실험어로부터 아가미 조직을 절취하여 Bouin액에 고정한 다음, 상법에 따라 파라핀으로 포매된 조직을 5~7  $\mu\text{m}$  두께로 연속절편하고, haematoxylin-eosin으로 대비 염색하여 광학현미경 아래에서 관찰하였다. 전자현미경 시료제작을 위하여는 아가미 조직을 절취하여 0.1 M phosphate buffer solution (PBS, pH 7.2)으로 완충시킨 2.5% glutaraldehyde 용액 ( $4^\circ\text{C}$ )에 2시간 동안 1차 고정하였다. 고정이 끝난 재료는 PBS로 10분간 세척한 후, 1% osmium tetroxide ( $\text{OSO}_4$ ) ( $4^\circ\text{C}$ )에 2시간 동안 2차 고정하였다. 고정이 끝난 재료는 PBS로 세척하고 50%에서 100%까지의 단계별 ethanol에서 15분씩 탈수하였다. 탈수후 propylene oxide와 Epon의 혼합물에 넣어 Epon 812로 포매하였다. 0.5  $\mu\text{m}$  로 절편된 시료를 toluidine blue로 염색하여 관찰부위를 결정한 다음, 다시 70 nm 두께로 절편하였다. 이후 uranylacetate와 lead

citrate 용액으로 이중 염색하여 투과전자현미경 (JEM 1200 EX-II, 60~80 Kv, JEOL, Japan) 관찰을 실시하였다.

## 4. 체성분 분석

염분변화에 따른 실험어의 체성분 변화를 알아보기 위하여, 실험개시시와 해수사육 2일째 (틸라피아), 해수사육 15일째 (송어) 및 담수사육 15일째 (송어)에 수조당 3마리씩 무작위 추출하여 전어체를 분쇄한 후  $-76^\circ\text{C}$ 에 분석 전까지 보관하였다. 이후 각 시료를 AOAC (1995) 방법에 따라 수분은 상압가열건조법 ( $105^\circ\text{C}$ , 4시간), 조단백질은 Kjeldahl 질소정량법 ( $\text{N} \times 6.25$ ), 조지방은 Soxhlet 추출법, 조회분은 건식회화법으로 분석하였다.

## 5. 통계처리

모든 실험자료에 대하여는 Computer Program Statistix 3.1 (Analytical Software, St. Paul, MN, USA)에 의해 ANOVA를 실시하고, 최소유의차 검정 ( $P=0.05$ )으로 평균간의 유의차 유무를 파악하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 아가미의 조직학적 변화

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 (Lee et al., 1997). 환경의 급격한 변화에 따라서 아가미는 1차적으로 2차새변 호흡상피의 박리와 공포화가 유발된다. 이에 따른 2차적 반응으로는 호흡 상피세포의 과다한 증생 (edema)으로 인한 유착 및 괴사가 일어나 아가미 호흡효율의 감소를 초래하게 되고, 심할 경우 폐사할 수 있다 (Lee et al., 1997). 본 연구에서는 사육수의 염분을 1일만에 0% (담수)에서 33% (해수)로 높인 후, 아가미를 적출하여 조직학적 변화를 조사하였다 (Fig. 2). 송어의 아가미 조직상은 전 실험기간중 별다른 차이를 보이지 않았으며, 해수사육 15일째까지도 실험개시시와 같은 정상적인 조직상을 나타냈다 (Fig. 2-A, C). 이는 Lee et al. (1997)이 보고한 25%와 50% 해수에서 10일째 아가미 2차새변의 손상되었다가 15일째에는 정상적인 조직상으로 회복되었다고 한 연구결과와 일치한다. 그러나 틸라피아에서는 해수사육 이전에 정상적인 조직상을 보인 반면 (Fig. 2-B), 해수사육에 의해 염분이 상승함에 따라 조직의 손상이 관찰되었으며, 해수사육 2일째에는 아가미 2차새변 (gill lamella)의 모세혈관들이 응혈 (blood clot)되고 새변이 증첩되는 조직상을 보였다 (Fig. 2-D). 더욱이 2일째에는 급격한 염분변화에 의해 폐사개체가 나타나기 시작하여 3일째 모두 폐사하였다. 손상을 입은 틸라피아의 아가미는 2차새변이 증첩되고 응혈되는 조직상을 나타냈다. 이는 호흡상피의 과다한 증생으로 인한 유착 및 괴사가 일어나 아가미의 호흡효율이 급격히 감소하였던 것으로 생각되며, 이러한 이유로 모두 폐사한 것으로 추측된다.

한편, 전자현미경 관찰에서는 송어의 경우, 염분이 상승함에 따라 아가미 염류세포 개구부 (apical pit)가 뚜렷하게 나타났으며,

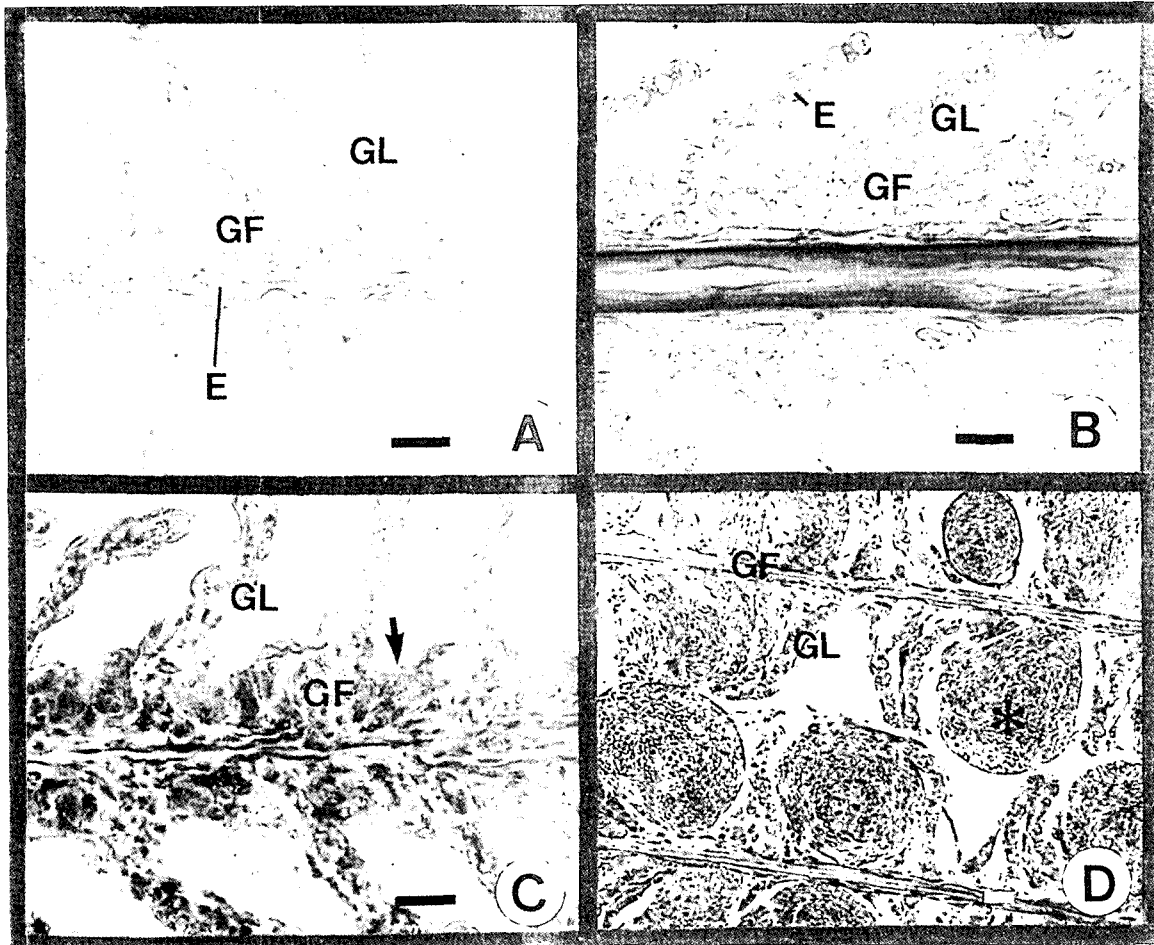


Fig. 2. Photomicrographs of gill filaments and lamella in grey mullet and Nile tilapia in freshwater and seawater. Ⓐ: grey mullet in freshwater (beginning of exp.), Ⓑ: Nile tilapia in freshwater (beginning of exp.), Ⓒ: grey mullet in seawater (day 15), Ⓓ: Nile tilapia in seawater (day 2). Arrow: chloride cell, E: erythrocyte, GF: gill filament, GL: gill lamella, \*: blood clot. Bar: 20  $\mu$ m.

많은 수의 미토콘드리아가 관찰되었다 (Lee et al., 1997) (Fig. 3). 송어에서는 염분이 증가할수록 미세소관계 (tubular system)가 증가한다고 하였는데 (Lee et al., 1997), 본 연구에서도 담수 (Fig. 3-A)에서 보다는 해수에서 미세소관계가 증가한 모양을 보여주었다 (Fig. 3-C). 염류세포의 주요 기능은 서식환경의 염분에 따라 주로 1가이온 ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ )의 흡수 및 배출을 담당한다고 보고하고 있으며 (Maina, 1990), 담수에 적응된 광염성 어류를 해수에 옮기면 염류세포의 수와 크기가 증가한다고 한다 (Philpott, 1980). 또한 Maina (1990)는 염류세포의 기저막과 측면 세포막의 합입에 의해 미세소관계가 치밀하고 규칙적으로 얽혀있는 망상구조를 형성하게 된다고 하였다. 본 연구에서도 마찬가지로 해수노출에 따라 송어 염류세포의 미세소관계가 증가된 모양을 보여주었다. Karmaky (1986)는 서식수의 염분이 상승하면  $\text{Na}^+$ 의 배출량은 늘어나며, 이에 따라  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATPase의 양도 증가하게 되고, 이 효소들이 존재하는 세포막의 중폭이 염류세포의 측면과 기저측 세포막의 합입에 의해 규칙적인 망상구조를 형성하는 미세소관계가

발달하게 된다고 하였다. 실험개시시의 틸라피아는 염류세포 개구부가 거의 닫혀있는 형태를 나타냈으며 (Fig. 3-B), 편평세포와 미토콘드리아의 간격이 해수사육 2일째의 것 보다 깊게 형성되어 있었다. 또한 염류세포의 미토콘드리아 수는 담수보다 해수에서 많아지는 경향을 보였다 (Fig. 3-D).

## 2. 체성분 조성변화

송어 전어체의 수분 함량은 실험개시시 74.0 $\pm$ 0.6%, 해수사육 15일째 73.6 $\pm$ 0.5%, 담수사육 15일째 74.5 $\pm$ 0.3%로 서로간에 유의한 차이를 보이지 않았다 ( $P>0.05$ ). 그러나 틸라피아 전어체의 수분 함량은 실험개시시 72.2 $\pm$ 0.1%였다가 해수사육 2일째에는 70.2 $\pm$ 0.2%로 유의하게 낮아졌다 (Table 1). 송어의 근육 수분함량을 조사한 Lee et al. (1997)은 실험개시시와 종료시에 78% 내외로 염분변화에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다고 하였는데, 본 연구에서도 해수사육에서는 약간 감소하였으나, 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 본 실험 이전에 장기간 담수순화되어 있었기에 기

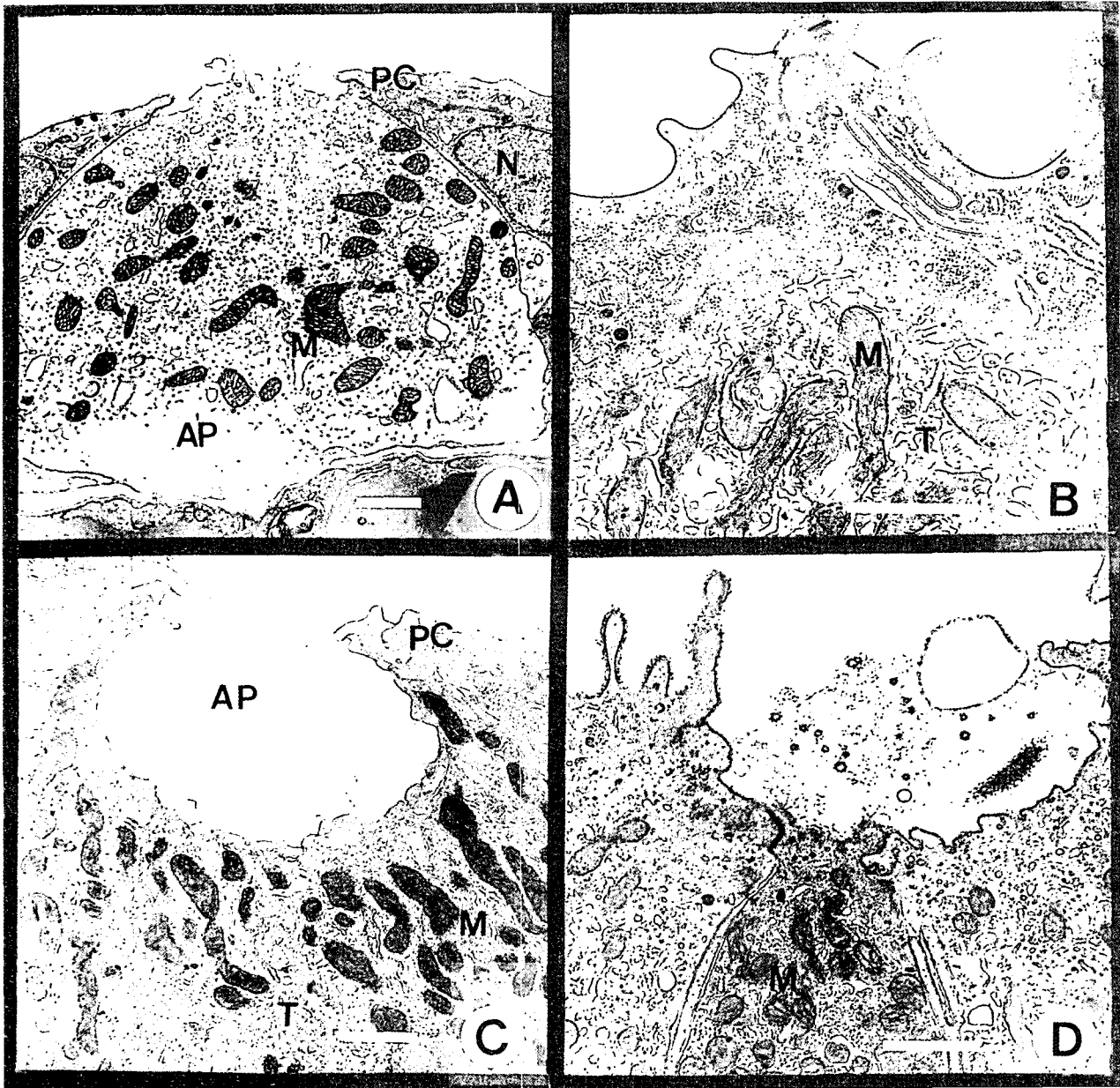


Fig. 3. Electron micrographs of chloride cell in grey mullet and Nile tilapia in freshwater and seawater. ④: grey mullet in freshwater (beginning of exp.), ⑤: Nile tilapia in freshwater (beginning of exp.), ③: grey mullet in seawater (day 15), ②: Nile tilapia in seawater (day 2). AP: apical pit, M: mitochondria N: nucleus, PC: pavement cell, T: tubular system. Bar: 1  $\mu$ m.

적응된 삼투압 조절기능에 의해 체내 수분조절이 원활하게 이루어졌던 것으로 생각된다. 한편 틸라피아는 해수사육 2일째에 수분 함량이 유의하게 낮아졌는데, 삼투압 조절 기능의 약화로 인해 이온은 체내에 축적되고, 수분은 외부환경에 빼앗긴 것으로 사료된다. Chang and Hur (1999)가 본 연구와 같은 염분변화를 주었을 때, 혈액의 삼투질 농도는 틸라피아가 653 mOsm/kg을 나타내 매우 높았다는 점, Dendrinios and Thorpe (1985)가 각각 다른 염분에서 1년간 사육한 유럽산 농어 (*Dicentrarchus labrax*)의 수분 함량이 해수 보다 담수에서 약간 낮은 것으로 나타났으며, 삼투질 농도는 해수 (376 mOsm/kg) 보다 5% (390 mOsm/kg)에서 높았

다고 한 점은 본 연구결과를 뒷받침해 주고 있다.

숭어와 틸라피아의 전어체 단백질 함량은 실험개시시 각각  $59.3 \pm 1.5\%$ ,  $56.7 \pm 0.5\%$ 로 유의한 차이를 보이지 않았다 ( $P > 0.05$ ). 또한 숭어는 해수사육 15일째  $63.5 \pm 0.8\%$ , 실험종료시  $64.9 \pm 0.7\%$ 로 유의차는 없었다. 틸라피아에서는 해수사육 2일째에  $65.6 \pm 0.1\%$ 로 유의하게 높아졌다. 결과적으로 숭어와 틸라피아는 각각 해수사육 15일과 2일째에 단백질 함량이 높아지는 경향이 있었다. Arunachalam and Reddy (1979)는 인도산 메기 (*Mystus vittatus*)를 30일동안 0, 2, 4, 6, 10‰에서 사육한 결과, 전어체의 단백질 함량은 10‰ 보다 0‰에서 더욱 감소하였다고 보고하여 본 연구와 상반된 결과를

**Table 1.** Whole body composition (% of dry matter basis) of grey mullet (M) and Nile tilapia (T) reared under the condition of sharp salinity change

	Rearing days (salinity, ‰)				
	0 (0)		2 (33)	15 (33)	30 (0)
	M	T	T	M	M
Moisture	74.0±0.6 <sup>a</sup>	72.2±0.1 <sup>b</sup>	70.2±0.2 <sup>c</sup>	73.6±0.5 <sup>a</sup>	74.5±0.3 <sup>a</sup>
Protein	59.3±1.5 <sup>ab</sup>	56.7±0.5 <sup>b</sup>	65.6±0.1 <sup>a</sup>	63.5±0.8 <sup>a</sup>	64.9±0.7 <sup>a</sup>
Lipid	20.5±0.5 <sup>a</sup>	16.7±0.2 <sup>ab</sup>	17.6±0.5 <sup>b</sup>	16.4±0.3 <sup>bc</sup>	15.8±0.3 <sup>c</sup>
Ash	17.1±0.1 <sup>b</sup>	16.4±0.2 <sup>b</sup>	16.7±0.1 <sup>a</sup>	17.8±0.4 <sup>a</sup>	17.6±0.6 <sup>a</sup>

Values (mean±SE) within the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

나타냈다.

송어 전어체의 지질 함량은 실험개시시 20.5±0.5%, 해수사육 15일째 16.4±0.3%, 실험종료시 15.8±0.3%로 계속 낮아졌다. 틸라피아에서는 실험개시시에 16.7±0.2%였던 것이 해수사육 2일째에 17.6±0.5%로 유의차는 없었다 (P>0.05). 인도산 메기에서는 전어체의 수분함량이 증가하면 지질함량이 감소하는 것으로 알려져 있는데 (Arunachalam and Reddy, 1979), 본 연구에서도 틸라피아의 수분함량이 증가함에 따라 지질함량이 감소하였다. Lee et al. (1997)은 체내의 지질 축적이 삼투압 조절 및 물 평형의 유지차원에서 외부로부터 물 유입에 대한 어체의 방어기구라고 보고하고 있다. 따라서 송어는 실험개시시까지 담수순화 사육해 왔던 것이므로 삼투압 조절능력에서 체내의 항상성 유지를 위해 지질을 축적하여 물의 체내 유입을 억제한 것으로 사료된다.

회분 함량은 송어와 틸라피아에서 각각 17.1±0.1%, 16.4±0.2%로 차이를 보이지 않았으나, 해수사육 15일째, 담수사육 15일 후 (사육 30일째)에는 실험개시시 보다 높아졌다 (P<0.05).

이상의 연구결과를 종합하여 보면, 서식수의 염분에 따른 송어의 아가미는 염분변화에 따라 조직학적으로 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나, 틸라피아에서는 해수노출 2일째에 2차새변의 모세혈관이 응혈되고 새변이 중첩되는 조직상을 보여주었다. 아가미 새변의 미세구조 관찰에서 송어는 해수노출에 따라 염류세포의 개구부가 뚜렷이 관찰된 반면, 틸라피아는 관찰 할 수 없었으나, 해수노출 2일째에 미토콘드리아의 수가 증가된 형태를 보였다. 전어체의 수분함량에 있어 송어는 해수와 담수에서 차이를 보이지 않아, 우수한 삼투압 조절능력을 가진 것으로 판단되나, 틸라피아에서는 염분이 증가함에 따라 삼투압 조절기능의 약화에 의해 체외로 수분을 빼앗긴 것으로 생각된다.

## 요 약

염분변화에 따른 송어와 틸라피아의 아가미 조직과 전어체의 일반성분을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다. 사육수의 염분 조절은 담수로부터 1일만에 33‰의 해수가 되도록 사육수를 교환하였고, 이후 15일 후에 다시 담수로 사육수를 교환하여 15일간 담수로 유지하였다. 전 실험기간중 송어의 아가미 조직상은 별다른 차이를 보이지 않았다. 그러나 틸라피아는 염분상승에 따른 조

직의 손상이 관찰되었으며, 해수 2일째에는 아가미 2차새변 (gill lamella)의 모세혈관들이 응혈 (bloodclot)되고 새변이 중첩되는 조직상을 보였다. 염분이 상승함에 따라 송어의 아가미 염류세포는 개구부 (apical pit)가 뚜렷하였으며, 많은 수의 미토콘드리아를 가지고 있었다. 틸라피아에서는 실험개시시에는 염류세포 개구부가 거의 닫혀있는 형태를 나타냈으며, 미토콘드리아는 담수 보다 해수에서 증가되었다. 송어 전어체의 수분 함량은 실험개시시 20.5±0.6%, 해수사육 15일째 16.4±0.5%, 담수사육 15일째 15.8±0.3%로 서로간에 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 틸라피아에서는 실험개시시 16.7±0.2%였다가 해수사육 2일째에는 17.6±0.5%로 유의하게 낮아졌다. 송어의 전어체 단백질 함량은 실험개시시와 15일째 유의한 차이를 보이지 않았다. 틸라피아의 지질 함량은 차이를 보이지 않았으나, 회분 함량은 차이를 나타냈다.

## 참 고 문 헌

- AOAC. 1995. Official methods of analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA.
- Arunachalam, S. and S.R. Reddy. 1979. Food intake, growth, food conversion, and body composition of catfish exposed to different salinities. *Aquaculture*, 16, 163~171.
- Cha, H.K. and J.H. Jung. 1994. The experimental rearing of mullet, *Mugil cephalus* in the embankment. *Techn. Rep. NFRDA*, 114, 7~26 (in Korean).
- Chang, Y.J. and J.W. Hur. 1999. Physiological responses of grey mullet (*Mugil cephalus*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by rapid changes in salinity of rearing water. *J. Korean Fish. Soc.*, 32, 310~316 (in Korean).
- Dendrinios, P. and J.P. Thorpe. 1985. Effects of reduced salinity on growth and body composition in the European bass *Dicentrarchus labrax* (L.). *Aquaculture*, 49, 333~358.
- Goss, G.G., P. Laurent and S.F. Perry. 1994. Gill morphology during hypercapnia in brown bullhead (*Ictalurus nebulosus*): Role of chloride cells and pavement cells in acid-base regulation. *J. Fish Biol.*, 45, 705~718.
- Heisler, N. 1984. Acid base regulation in fishes. *In: Fish Physiology* (Hoar, W.S. and D.J. Randall. eds.) Academic Press, London, 10, 315~401.
- Hiroi, J., T. Kaneko, T. Seikai and M. Tanaka. 1998. Developmental sequence of chloride cells in the body skin and gills of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) larvae. *Zool. Sci.*, 15, 455~460.
- Hwang, P.P. 1987. Tolerance and ultrastructural response of branchial chloride cells on salinity changes in euryhaline teleost, *Oreochromis mossambicus*. *Mar. Biol.*, 94, 643~649.
- Hur, J.W. and Y.J. Chang. 1999. Physiological responses of grey mullet (*Mugil cephalus*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by gradual change in salinity of rearing water. *J. Aquacult.*, 12, 283~292 (in Korean).
- Karnaky, K.J., JR. 1986. Structure and function of the chloride cell of *Fundulus heteroclitus* and other teleosts. *Amer. Zool.*, 26, 209~224.
- Keys, A. and E.N. Willmer. 1932. Chloride secreting cells in the gill of fishes with special reference to the common eel. *J. Physiol.*, 238, 147~159.

- Kim, I.B. and Y.B. Woo. 1988. Optimum dissolved oxygen level for the growth of tilapia in the recirculating water system. *J. Aquacult.*, 1, 67~73 (in Korean).
- Laurent, P. 1984. Gill internal morphology. *In: Fish Physiology* (Hoar, W.S. and D.J. Randall. eds.) Academic Press, New York, Vol. 10A. pp. 73~183.
- Laurent, P. and S. Dunel. 1980. Morphology of gill epithelia in fish. *Amer. J. Physiol.*, 238, 147~159.
- Lee, Y.C., Y.J. Chang and B.K. Lee. 1997. Osmoregulation capability of juvenile grey mullets (*Mugil cephalus*) with the different salinities. *J. Korean Fish. Soc.*, 30, 216~224 (in Korean).
- 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.
- Philpott, C.W. 1980. Tubular system membranes of teleost chloride cells: Osmotic response and transport sites. *Amer. J. Physiol.*, 238, 171~184.
- Pisam, M., P. Prunet, G. Boeuf and A. Rambourg. 1988. Ultrastructural features of chloride cells in the gill epithelium of the Atlantic salmon, *Salmo salar*, and their modifications during smoltification. *Amer. J. Anat.*, 1983, 235~244.
- Randall, D.J. and J. Daxboeck. 1984. Oxygen and carbon dioxide transfer across fish gills. *In: Fish Physiology* (Hoar, W.S. and D. J. Randall. eds.) Academic Press, New York, Vol. 10A. pp. 286~314.
- Schwerdtfeger, V.K. and J. Bereiter-Hahn. 1978. Transient occurrence of chloride cells in the abdominal epidermis of the guppy, *Poecilia reticulata* Peters, adapted to sea water. *Cell Tiss. Res.* 191, 463~471.
- Shikano, T. and Y. Fujio. 1998. Relationships of salinity tolerance to immunolocalization of Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase in the gill epithelium during seawater and freshwater adaptation of the guppy, *Poecilia reticulata*. *Zool. Sci.*, 15, 35~41.

---

2000년 9월 22일 접수

2001년 1월 19일 수리