

사육수의 단계적인 염분변화에 따른 송어(*Mugil cephalus*)와 틸라피아(*Oreochromis niloticus*)의 생리적 반응

허준욱 · 장영진

부경대학교 수산과학대학 양식학과

Physiological Responses of Grey Mullet (*Mugil cephalus*) and Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) by Gradual Change in Salinity of Rearing Water

Jun Wook Hur and Young Jin Chang

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

Physiological responses (cortisol, glucose, GPT, GOT, hematocrit, sodium, chloride, potassium, total protein and osmolality), growth and survival rates of grey mullet and Nile tilapia were tested by the gradual salinity changes for 70 days. Three different sizes of grey mullet, small (MS, 13.3 ± 1.8 cm), middle (MM, 28.9 ± 3.6 cm) and large (ML, 36.0 ± 2.0 cm), and three different sizes of tilapia, small (TS, 16.5 ± 1.7 cm), middle (TM, 20.6 ± 1.8 cm) and large (TL, 27.2 ± 2.7 cm) were used. Salinity of rearing water was increased 5‰ in every 5 days until it reached at 35‰, thereafter the level was decreased 5‰ in every 5 days until it reached at 0‰.

The cortisol concentrations in all size groups of grey mullet were increased at both full strength seawater (SW) and freshwater (FW) at the end. The cortisol concentrations of TM and TL groups were higher in SW than FW (0 and 70 days). In glucose level, there was no significant difference in MS and ML groups during all experimental periods. However that in MM group was higher in SW than FW (0 and 70 days). The GOT values of grey mullet were lower than those of Nile tilapia. The sodium concentrations of grey mullet in SW were ranged 160~184 mEq/l, while those of Nile tilapia were over 200 mEq/l. Chloride and potassium concentrations of Nile tilapia were the highest in the SW. No mortality was observed in MM and ML groups but survival rate of MS group was 76%. Overall survival rate of Nile tilapia was lower than grey mullet. Survival rate of TS, TM and TL groups were 79%, 29% and 55%, respectively.

Key words : Grey mullet, Nile tilapia, Salinity change, Cortisol, Physiological response

서 론

해수어류 양식에서는 그 동안 육·해상 양식에서 성장이 좋고 생존율도 높은 넙치와 조피볼락의 양식이 이미 산업화되었다. 그러나 최근에는 양식 현장에서 새로운 양식품종의 개발에 대한 수요가

급증하고 있어 양식관련 연구계 및 산업계에서는 넙치, 조피볼락 이외의 어종 개발에 많은 관심을 쏟고있는 실정이다. 이러한 양식현장의 요구를 충족시키기 위하여 새로운 종의 양식이 활발히 시도되고 있으며, 새로운 양식 대상종의 하나인 송어와 농어 등 광염성 해수어류의 폐염전이나 기

수역의 저수지, 심지어 기존의 담수 양식장을 이
용한 양식도 검토되고 있다.

송어(*Mugil cephalus*)는 염분변화에 강하여 담수
서식이 가능하고 저온에도 강하다(Odum, 1970).
최근에는 송어의 삼투압 조절능력 등 담수사육에
관한 기초연구가 보고되고 있다(장 등, 1996; 이
등, 1997; 장·허, 1999). 또한 국외의 연구로는 호
르몬 처리에 의한 인위적 산란유도(Lee et al.,
1987), Walsh et al. (1991)의 산란유도 및 부화에
미치는 염분의 영향 등이 있으나, 삼투압 조절기
구를 활용한 담수순화 양식에 관한 연구는 아직
까지 국내·외적으로 부족한 실정이다.

한편 틸라피아(*Oreochromis niloticus*)는 외형이
나 맛이 바다의 돔과 비슷한 특색이 있고 시중에서
역점으로 불리고 있다. 따라서 해수사육이 가
능하다면, 바다의 기상악화로 인하여 활용용 해
산어류의 공급이 감소될 때 대체 사용 가능성이
높으며, 내병성 및 품질개선에 의해 어가 향상도
기대할 수 있다. 그러나 틸라피아의 해수사육과
관련된 연구는 장·허(1999)의 급격한 염분변화
에 따른 생리적 반응에 대한 보고가 있을 뿐, 삼
투압 조절생리를 이용한 해수순화 양식에 관한
연구는 찾아보기 힘들다.

그러므로 본 연구에서는 송어와 틸라피아를 사
용하여 사육수의 단계적 염분변화를 통한 두 어
종의 생리적 반응과 성장 및 생존율을 조사하고,
송어와 틸라피아의 담수와 해수사육시 성장에 관
한 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험어류와 실험조건

실험어류로는 송어와 틸라피아를 사용하였다.

모든 실험에 사용된 송어는 해수에서 종묘생산하
여 담수사육하던 것이었으며, 틸라피아는 담수에서
계속 사육해 오던 것이었다. 모든 실험은 순환
여과 사육시스템에서 실시하였고, 수조는 FRP 원
형수조(250 ℓ) 6개로 총 수용적은 1,500 ℓ였다.

각 실험에서 어류는 2, 3년생으로 대·중·소
크기로 나누어 사육하였다. 각 수조에 송어를 대
(ML)·중(MM)·소(MS)별로 각각 13, 13 및 21마
리씩, 틸라피아를 대(TL)·중(TM)·소(TS) 각각
20, 21 및 24마리씩 수용하였으며, 실험어의 전장
과 체중은 Table 1과 같다. 실험기간은 70일간으
로 하였다. 사육수의 염분조절은 Fig. 1과 같이, 담
수에서 5일 마다 해수첨가에 의해 염분을 5%씩
올려 35일만에 33‰의 해수가 되도록 하였다. 이
후 5일 간격으로 담수첨가에 의해 사육수의 염분
을 단계적으로 낮추어 35일만에 다시 담수환경이
되도록 하였다.

실험개시전 어류를 실험수조에 수용하는 과정
중 어류의 이동에 따른 스트레스 영향을 최소화

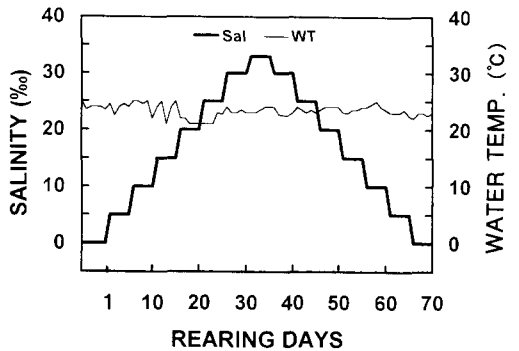


Fig. 1. Method of gradual salinity changes on the test of physiological responses of grey mullet and Nile tilapia.

Table 1. Average body size of grey mullet and Nile tilapia used in the experiments for the test of physiological responses of these species by gradual salinity changes

	Grey mullet			Nile tilapia		
	Small	Middle	Large	Small	Middle	Large
Total length (cm)	13.3±1.8	28.9±3.6	36.0±2.0	16.5±1.7	20.6±1.8	27.2±2.7
Body weight (g)	20.6±8.7	216.0±90.4	458.2±71.1	82.1±24.5	72.2±45.7	344.5±116.4

하기 위하여, 어체가 충분히 안정되고 섭식이 활발할 때 실험을 실시하였다. 또한 실험어의 도피 방지 및 스트레스를 받지 않고 안정되도록 모든 실험수조의 상부에 그물을 설치하였다. 실험중 먹이는 잉어용 상품사료로서, 공급량은 1일 체중당 1~3%로 하였다. 환수는 매일 사료공급 4시간 후에 150~200 l (10~13%)를 하였으며, 산소공급을 위해 에어레이션을 충분히 해주었다. 사육시 용존산소는 평균 4.1 ppm이었고, pH는 8.0이었다. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 는 0.33~1.25 mg/l, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 는 0.0006~0.018 mg/l, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 는 23.1~36.4 mg/l로 송어와 틸라피아의 사육에는 지장이 없는 수질이었다(차·정, 1994; 김·우, 1988).

2. 혈액의 채취 및 분석

혈액을 채취하기 이전에 공급한 먹이가 어체의 혈액성상(池田等, 1986)에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 채혈 24시간 전부터 절식시켰다. 채혈은 주사기(용량 1 cc, 3 cc)를 사용하여, 각 수조에서 5마리의 어체로부터 실시하였다. 채혈시기는 0, 10, 20, 30, 35, 40, 50, 60 및 70일째로 하였다.

채취한 각 개체 혈액의 헤마토크리트(Ht, %)는 micro-hematocrit법(Micro-Hematocrit Reader, Hawksley)으로 측정하였다. 이후 남은 혈액을 상온에서 10분 정도 방치하였다가, 원심분리(12,000 rpm, 5분)하여 얻은 혈장은 분석전까지 -76°C 에 보관하였다. 혈장 코티졸 농도는 Donaldson(1981)의 방법에 따라 방사선면역측정법(RIA)으로 분석하였으며, cortisol RIA kit (DSL, USA)로 항원과 표지항원이 항체에 경쟁적으로 반응하도록 유도한 다음, Hewlett Packard Gamma Counter (USA)로 측정하였다. 혈장 글루코스는 Eiken glucose 측정용 시약(Japan)을 사용하여 Chemistry Autoanalyzer (Hitachi 736-40, Japan)로 비색정량하여 분석하였다. 혈장의 GPT (glutamate-pyruvate transaminase), GOT (glutamate-oxaloacetate transaminase), 총 단백질, Na^+ , Cl^- 및 K^+ 농도의 측정에는 건식 혈액분석기(Ektachem DT-II analyzer, Eastman Kodak Co., USA)를 사용하였다. 혈장의

삼투질 농도 측정은 Micro Osmometer (Model 3MO, USA)에 의하였다.

3. 성장과 생존율 측정

각 실험에서 어체의 성장을 조사하기 위하여 실험개시시와 실험종료시에 전장과 체중을 측정하였다. 전장은 1 mm 눈금의 계측판을 이용하였고, 체중은 전자저울(AND FS-6K, Australia)을 이용하여 1/100 g까지 측정하였다. 실험종료시 이들 값으로부터 전장성장, 체중성장 및 비만도를 계산하였다. 또한 사료공급에 따른 실험어의 식욕, 증육량, 사료전환효율 및 증육계수를 구하였다. 실험기간중 생존율은 매일 폐사개체를 헤아려 폐사율을 구하고 이로부터 생존율을 산정하였다.

4. 통계처리

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

결 과

1. 코티졸과 글루코스 농도

실험개시시 담수에서 송어의 코티졸 농도는 Fig. 2와 같이, MS, MM 및 ML에서 각각 76.0 ± 38.6 , 1.0 ± 0.0 , 31.4 ± 22.6 ng/ml였던 것이, 이후 단계적으로 염분을 올린 33%(35일째)에서는 MS와 MM에서 각각 181.5 ± 6.9 , 139.8 ± 27.4 ng/ml로 더욱 높아졌으나, ML은 59.7 ± 43.6 ng/ml로 큰 변화는 없었다. 그러나 다시 단계적으로 염분을 내린 실험종료시(70일째)의 담수에서는 MS 265.9 ± 154.1 ng/ml, ML 219.1 ± 77.0 ng/ml로 높아졌다. 틸라피아의 TS는 실험개시시 104.9 ± 24.2 ng/ml로 가장 높은 값을 나타내었으나, 35일째에는 98.2 ± 0.6 ng/ml로 낮아졌고, 실험종료시에는 24.5 ± 12.7 ng/ml로 더 낮아졌다. 그러나 MM에

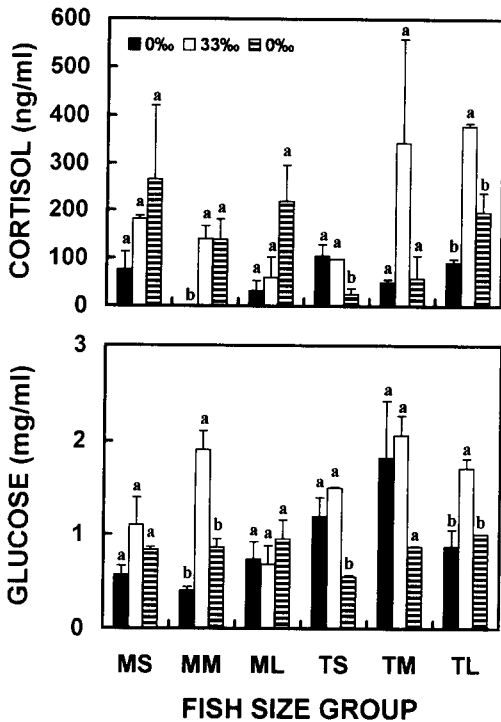


Fig. 2. Concentrations of plasma cortisol and glucose of grey mullet and Nile tilapia reared under the conditions of gradual salinity changes. MS: small size grey mullet, MM: middle size grey mullet, ML: large size grey mullet, TS: small size Nile tilapia, TM: middle size Nile tilapia, TL: large size Nile tilapia. Different alphabetic letters on the bars in a fish size group are significantly different ($P < 0.05$).

서만 35일째에 유의차가 인정되었으나, MMS와 ML에서는 차이가 없었다.

글루코스 농도는 실험개시시 MM에서 0.4 ± 0.0 mg/ml로부터 해수에서는 1.9 ± 0.2 mg/ml로 높아져 유의한 차이를 보였으나, 이후 실험종료시 담수에서는 0.9 ± 0.1 mg/ml로 낮아졌다. TM은 실험개시시 1.8 ± 0.7 mg/ml로부터 35일째에는 2.1 ± 0.2 mg/ml로 높아졌으나, 단계적으로 염분 내린 담수에서는 0.9 ± 0.0 mg/ml로 실험개시시 보다 더 낮아진 값을 보였다(Fig. 2). 그러나 TL은 해수에서 1.7 ± 0.1 mg/ml로 담수환경이었던 실험개시시(0.9 ± 0.2 mg/ml)와 종료시(1.0 ± 0.0 mg/

ml) 보다 유의하게 높았다($P < 0.05$).

2. 혈액의 Ht, GPT, GOT 및 총단백질

Ht는 Table 2와 같이, 송어의 MS는 실험개시시 $28.0 \pm 1.3\%$ 였던 것이 33‰에서 $28.3 \pm 1.3\%$ 로 차이를 보이지 않다가, 실험종료시에는 $33.8 \pm 3.5\%$ 로 높아진 값을 보였다($P < 0.05$). MM은 실험개시시 $36.8 \pm 2.0\%$ 으로부터 35일째에는 $36.2 \pm 2.2\%$ 로 차이가 없었으나, 실험종료시에는 차이를 나타냈다($P < 0.05$). 틸라피아는 TM에서 실험개시시 $33.0 \pm 0.0\%$ 에서 사육 35일째 $25.8 \pm 3.5\%$ 로 유의하게 낮아졌으며, 실험종료시에는 $32.0 \pm 3.1\%$ 로 다시 높아졌으나 유의차는 없었다.

염분의 단계적 변화에 따른 송어와 틸라피아의 GPT와 GOT 활성은 Table 3과 같다. 송어의 MS, MM 및 ML의 GPT 활성은 실험개시시(0‰) 12.5 ± 1.5 , 6.5 ± 4.5 , 7.5 ± 5.5 였던 것이 35일째(33‰)와 실험종료시(0‰)에는 ≤ 2.0 으로 유의하게 낮아졌다($P < 0.05$). 틸라피아도 실험개시시 TS 5.5 ± 1.5 , TM 21.0 ± 4.0 , TL 7.0 ± 1.0 이었던 것이 해수에서는 각각 5.0 ± 2.0 , 12.0 ± 3.0 , 6.5 ± 4.5 로 낮아졌으며($P > 0.05$), 실험종료시에는 더욱 낮아진 값을 보였는데 TS와 TL에서는 차이가 인정되지 않았다($P > 0.05$). 송어의 GOT 활성은 $3.0 \pm 0.0 \sim 18.0 \pm 14.0$ 인 반면, 틸라피아에서는 $15.5 \pm 8.5 \sim 104.6 \pm 31.4$ 의 범위를 보였다.

송어의 총단백질 함량은 실험개시시와 종료시 담수에서 보다 해수에서 높은 값을 보였는데, MM은 실험개시시 30.0 ± 1.0 mg/ml에서 해수와 실험종료시에 각각 45.0 ± 1.0 , 43.5 ± 3.5 mg/ml로 유의한 차이를 나타냈다($P < 0.05$). 그러나 틸라피아의 모든 실험구는 실험기간중 유의차는 없었다(Table 3).

3. 혈장의 전해질과 삼투질 농도

염분변화에 따른 송어와 틸라피아 혈장 Na^+ , Cl^- 및 K^+ 농도는 Fig. 3과 같다. 송어의 Na^+ 농도는 실험개시시와 종료시에 $150 \sim 175$ mEq/l를 나타냈고, 틸라피아는 $144 \sim 180$ mEq/l를 보여

사육수의 단계적인 염분변화에 따른 숭어(*Mugil cephalus*)와 틸라피아(*Oreochromis niloticus*)의 생리적 반응

Table 2. Hematocrit values of grey mullet and Nile tilapia reared under the conditions of gradual salinity changes

Rearing days (%)	Fish size group					
	MS	MM	ML	TS	TM	TL
0(0)	28.0 ± 1.3 ^{bcd}	36.8 ± 2.0 ^a	33.5 ± 0.0 ^{bd}	33.5 ± 0.0 ^{ab}	33.0 ± 0.0 ^a	30.5 ± 0.0 ^{abc}
10(10)	22.3 ± 1.6 ^{cd}	28.8 ± 0.7 ^{abc}	30.2 ± 1.6 ^e	29.4 ± 0.9 ^b	28.3 ± 2.3 ^{ab}	27.0 ± 1.6 ^c
20(20)	27.4 ± 1.9 ^{bcd}	33.8 ± 2.1 ^{abc}	31.8 ± 1.2 ^{de}	31.8 ± 2.0 ^{ab}	29.6 ± 0.5 ^{ab}	31.8 ± 2.3 ^{ab}
30(30)	31.8 ± 2.2 ^{ab}	32.8 ± 1.0 ^{abc}	34.8 ± 0.4 ^{ab}	31.6 ± 2.1 ^{ab}	29.4 ± 0.9 ^{ab}	24.4 ± 1.3 ^c
35(33)	28.3 ± 1.3 ^{bcd}	36.2 ± 2.2 ^{ab}	35.4 ± 1.4 ^{ab}	36.4 ± 1.1 ^a	25.8 ± 3.5 ^b	25.3 ± 1.8 ^{bc}
40(30)	28.7 ± 0.5 ^{bc}	35.0 ± 1.8 ^{abc}	37.2 ± 0.9 ^a	33.2 ± 3.2 ^{ab}	33.2 ± 4.8 ^a	33.0 ± 4.8 ^a
50(20)	24.0 ± 0.8 ^d	28.2 ± 1.7 ^{bc}	33.8 ± 1.2 ^b	33.8 ± 2.2 ^{ab}	28.8 ± 2.7 ^{ab}	28.2 ± 2.8 ^{abc}
60(10)	29.9 ± 1.3 ^{abc}	29.5 ± 1.5 ^{abc}	29.8 ± 0.8 ^e	34.8 ± 2.4 ^a	35.3 ± 2.3 ^a	26.7 ± 1.2 ^{abc}
70(0)	33.8 ± 3.5 ^a	27.2 ± 1.7 ^c	30.6 ± 1.2 ^{de}	34.6 ± 1.5 ^{ab}	32.0 ± 3.1 ^{ab}	25.2 ± 2.0 ^c

Values are mean ± S.E.M.

Values within the same column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$). MS: grey mullet of small size, MM: grey mullet of middle size, ML: grey mullet of large size, TS: Nile tilapia of small size, TM: Nile tilapia of middle size, TL: Nile tilapia of large size.

Table 3. Variation of plasma GPT, GOT and total protein of grey mullet and Nile tilapia reared under the conditions of gradual salinity changes

Items	Rearing days(%)	Fish size group					
		MS	MM	ML	TS	TM	TL
GPT	0(0)	12.5 ± 1.5 ^a	6.5 ± 4.5	7.5 ± 5.5	5.5 ± 1.5	21.0 ± 4.0 ^a	7.0 ± 1.0
	35(33)	≤ 2.0 ^b	≤ 2.0	≤ 2.0	5.0 ± 2.0	12.0 ± 3.0 ^{ab}	6.5 ± 4.5
	70(0)	≤ 2.0 ^b	≤ 2.0	≤ 2.0	4.0 ± 2.0	≤ 2.0 ^b	6.5 ± 2.5
GOT	0(0)	8.5 ± 1.5	6.0 ± 3.0	4.0 ± 1.0	28.0 ± 6.0	48.5 ± 31.5	15.5 ± 8.5
	35(33)	7.9 ± 4.8	8.5 ± 5.5	3.0 ± 0.0	104.6 ± 31.4	81.0 ± 9.0	26.5 ± 7.5
	70(0)	18.0 ± 14.0	3.0 ± 0.0	15.5 ± 12.5	52.5 ± 26.5	25.0 ± 2.0	26.0 ± 10.0
Total protein (mg/ml)	0(0)	26.0 ± 1.0	28.5 ± 4.5	37.5 ± 4.5	33.5 ± 1.5	28.5 ± 5.5	35.0 ± 2.0
	35(33)	30.0 ± 1.0 ^b	31.5 ± 6.5	45.0 ± 1.0 ^a	26.5 ± 5.5	43.5 ± 3.5 ^a	23.0 ± 2.0
	70(0)	38.5 ± 1.5	30.5 ± 0.5	52.5 ± 6.5	48.0 ± 4.0	47.5 ± 7.5	42.0 ± 11.0

Values are mean ± S.E.M.

Values within the same column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$). MS, MM, ML, TS, TM and TL are same abbreviations as in the Table 2.

담수에서는 큰 차이를 보이지 않았으나, 해수에서는 숭어가 160~184 mEq/ℓ를 나타낸 반면, 틸라피아는 200 mEq/ℓ 이상으로 숭어 보다 높은 농도를 보였다. Cl⁻ 농도는 Na⁺와 같은 경향을 보였는데, 틸라피아는 해수에서 유의하게 높아진 경향을 나타냈다. K⁺ 농도도 Na⁺와 Cl⁻과 같은 경향으로 숭어는 염분변화에 따른 큰 차이를 나타내지 않았으나, 틸라피아는 해수에서 높은 값을 보

였다. 그러나 TS에서는 실험개시시 1.8 ± 0.5 mEq/ℓ로부터 해수에서의 2.4 ± 0.5 mEq/ℓ로 약간 높아졌으나, TM과 TL은 해수에서 각각 2.7 ± 0.2, 3.6 ± 0.9 mEq/ℓ로 실험개시시 담수에서 보다 각각 5, 6배 높아진 수준이었다.

삼투질 농도는 Fig. 4에서 보는 바와 같이, 숭어는 308.5~393.5 mOsm/kg의 범위를 나타냈다. 틸라피아는 담수환경인 실험개시시와 종료시에

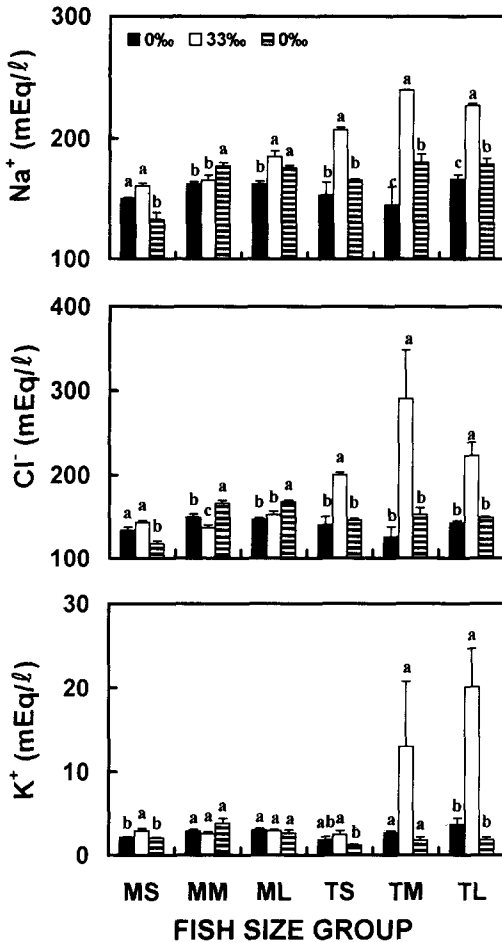


Fig. 3. Concentrations of plasma sodium, chloride and potassium of grey mullet and Nile tilapia reared under the conditions of gradual salinity changes. MS, MM, ML, TS, TM and TL are same abbreviations as in the Fig. 2. Different alphabetic letters on the bars in a fish size group are significantly different ($P < 0.05$).

308.0~338.5 mOsm/kg이었으나, 해수에서는 TS 403.5±3.5 mOsm/kg, TM 471.5±1.5 mOsm/kg 및 TL 472.0±8.0 mOsm/kg으로 담수환경에서 보다 유의하게 높은 값을 보였다($P < 0.05$).

4. 성장 및 생존율

실험기간중 어체의 전장은 Table 4와 같이, MS

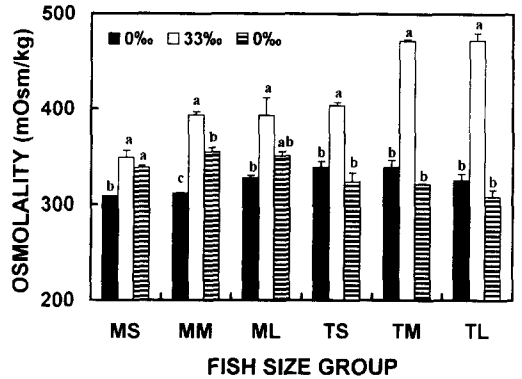


Fig. 4. Plasma osmolalities of grey mullet and Nile tilapia reared under the conditions of gradual salinity changes. MS, MM, ML, TS, TM and TL are same abbreviations as in the Fig. 2. Different alphabetic letters on the bars in a fish size group are significantly different ($P < 0.05$).

에서는 실험개시시의 13.3±1.8 cm로부터 실험종료시의 14.5±2.5 cm로 성장하였다. MM과 ML은 실험개시시에 각각 28.9±3.6, 36.0±2.0 cm였던 것이 종료시에는 33.4±4.2 cm, 40.0±2.7 cm로 성장하였다. 틸라피아의 전장성장률은 TS에서 18.8%였으며, TL은 7.4%로 가장 낮았다. 체중은 MS에서 20.6±8.7 g에서 실험종료시 25.7±13.6 g으로 성장하였고, ML은 458.2±71.1 g에서 실험종료시 697.8±165.3 g이었다. 틸라피아는 TL에서 실험개시시 172.7±45.7 g이었던 것이, 실험종료시 200.5±85.7 g으로 자라났다. 일간성장률은 체중성장이 가장 빨랐던 MM에서 0.82%로 나타났고, TM에서 0.05%로 낮았다. 일간 사료섭식률은 MS에서 가장 높은 1.95%를 보였고, 체중성장률에서 가장 높았던 MM에서는 1.61%, TS는 1.40%로 낮았다.

송어의 MM과 ML은 실험종료시까지 폐사개체가 없었다(Fig. 5). 그러나 MS에서는 담수에서 해수사육 35일까지는 90%였으나, 실험종료시에는 76%의 생존율을 보였다. TM은 실험종료시 가장 낮은 생존율을 보였는데, 해수사육 30%까지는 90%였으나, 35일째에서 50일까지 43%로 감소

사육수의 단계적인 염분변화에 따른 숭어(*Mugil cephalus*)와 틸라피아(*Oreochromis niloticus*)의 생리적 반응

Table 4. Growth results of grey mullet and Nile tilapia reared under the conditions of gradual salinity changes

		Fish size group					
		MS	MM	ML	TS	TM	TL
Total length (cm)	Initial	13.8±1.8	28.9±3.6	36.0±2.0	16.5±1.7	20.6±1.8	27.2±2.7
	Final	14.5±2.5	33.4±4.2	40.0±2.7	18.8±3.6	22.9±3.4	29.3±2.9
Body weight (g)	Initial	20.6±8.7	216.0±90.4	458.2±71.1	82.1±24.5	172.7±45.7	344.5±116.4
	Final	25.7±13.6	390.1±142.3	697.8±165.3	125.9±45.4	200.5±85.7	427.9±122.9
GRL		9.8	14.1	11.1	18.8	9.3	7.4
GRW		23.8	80.6	52.4	59.5	16.2	24.1
Specific growth rate		0.17	0.82	0.59	0.34	0.05	0.11
Specific feeding rate		1.95	1.61	1.43	1.40	0.79	0.90
Feed conversion rate		8.5	50.8	41.3	30.9	11.7	11.7
Condition factor		8.53	10.75	10.91	18.37	16.52	17.55

Values are mean±S.E.M.

MS, MM, ML, TS, TM and TL are same abbreviations as in the Table 2.

GRL: growth rate of total length, GRW: growth rate of body weight.

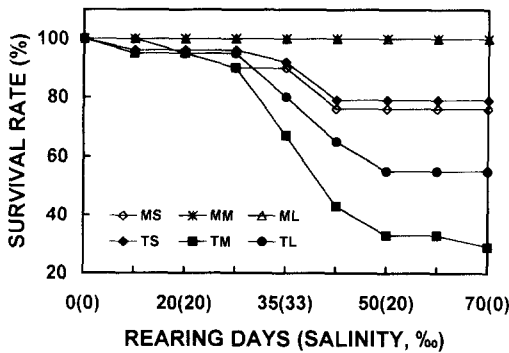


Fig. 5. Survival rates of grey mullet and Nile tilapia reared under the conditions of gradual salinity changes. MS, MM, ML, TS, TM and TL are same abbreviations as in the Fig. 2.

하여 종료시에는 29%였다. TL은 30‰에서 33‰로 높아지는 시기와 다시 30‰로 낮아지는 시기에 폐사율이 증가했는데, 실험종료시에 55%의 생존율을 보였다. TS의 생존율은 실험종료시 79%였다.

고찰

경골어류의 삼투압 조절은 아가미, 소화관 및

신장에서 이루어진다(Laurent and Kunel, 1980; Maina, 1990). 이러한 기관의 작용에 의해 담수 경골어류의 경우, 수분은 저장의 환경에서 고장의 어체내로 유입되고, 이온들은 고장의 어체내에서 저장의 담수환경으로 유출된다. 해수에 서식하는 경골어류에서는 담수 경골어류와는 반대 현상을 나타낸다. 즉, 담수에 서식하는 경골어류는 수분평형을 위해 물을 마시지 않고, 반대로 해수에 서식하는 어류는 삼투압에 의한 고장의 환경으로 빼앗긴 체내의 물을 보충하기 위하여 해수를 마신다(Kirsch et al., 1985). 물과 이온 등을 마신 해수어류는 1가 이온(Na^+ , Cl^- , K^+)을 소화관 벽에서 흡수하여 아가미에서 배출하고, 2가 이온(Mg^{2+} , Ca^{2+})은 소화관내에 축적되어 신장에서 배출된다(Kirsch and Meister, 1982).

어류는 급성 스트레스를 받게되면 항상성을 유지하지 못하여 폐사에 이를 수도 있고(Strange and Schreck, 1978), 만성 스트레스를 받게되면 성장감소, 행동변화 및 질병에 대한 감수성이 높아질 수 있다(Wedemeyer and McLeay, 1981). 이러한 스트레스 요인은 어류의 항상성 유지능력을 감소시키며(Schreck, 1982), 반복되는 스트레스는 어류의 건강도를 약화시킬 수 있다(Specker and

Schreck, 1980).

본 연구에서는 염분을 5일 간격으로 상승·하강시켜 어체에 스트레스를 주었는데, 송어의 혈중 코티졸 농도는 실험개시시(담수) 보다 해수(사육 35일째)에서 높아졌고, 다시 담수조건이 된 실험종료시(70일째)에 더욱 높아졌다. MM에서는 유의한 차이가 있었으나, MS와 ML에서는 차이를 보이지 않았다. 담수에서 단계적으로 해수로 교환하고 이후 다시 사육수의 염분을 5%씩 낮추어 담수로 되는 조건에서 송어는 저장(hypotonic) 환경에서 고삼투압 조절(hyper-osmoregulation)을 위하여 코티졸 농도가 상승한 것으로 생각된다. 장·허(1999)는 해수로부터 담수로 옮기는 급격한 염분변화 조건에서 혈중 코티졸 농도를 조사하였는데, 1일째에는 코티졸 농도의 감소를 나타냈으나 3일째에는 역으로 높아진 수치를 보였다. 이것은 본 연구의 결과와 비슷한 경향이었으나, 연어류에서 담수노출에 위한 코티졸에 감소(Avella et al., 1990)와는 상반된 결과를 나타냈다. 또한 송어는 해수에서 담수로 염분을 단계적으로 낮춘 사육 70일째에 코티졸 농도는 증가했지만, 글루코스 농도는 증가하지 않아 일반적으로 알려져 있는 코티졸/글루코스 수준의 동반상승 경향을 나타내지 않았다. 그러나 틸라피아의 코티졸 농도는 실험개시시와 종료시 담수에서 보다 높게 나타나, 코티졸 증가에 의한 글루코스 증가경향이 인정되었다. 그러므로, 담수에서 틸라피아는 항상성 유지를 위한 삼투압 조절이 가능하나, 해수에서는 삼투압 조절을 위한 에너지 소비가 많은 것으로 추정된다.

한편, 송어 혈장의 Na^+ 와 Cl^- 농도는 장 등(1996), 이 등(1997) 및 장·허(1999)가 보고했던 범위와 유사한 경향을 나타내 담수와 해수에서 항상성 유지를 위한 이온조절을 하고 있음을 보여주고 있다. 그러나 틸라피아는 담수 보다 해수에서 높은 Na^+ 과 Cl^- 농도를 보임으로써, 해수 조건에서는 코티졸과 글루코스의 변화경향과 아울러 항상성 유지를 위한 이온조절에 문제가 있는 것으로 판단된다. 또한 K^+ 농도에서도 송어는 해

수와 담수에서 차이를 나타내지 않았으나, 틸라피아는 해수에서 높은 농도를 보였다. 그러나 틸라피아 TS는 Na^+ , Cl^- 및 K^+ 에서 TM과 TL 보다는 낮은 수치를 보여 틸라피아는 어체 크기에 따라 삼투압 조절 능력에 차이가 있는 것으로 추정되므로, 이에 대한 보다 깊은 연구가 필요하다.

삼투질 농도에 있어서도 송어는 여러 이온(Na^+ , Cl^- , K^+)들과 같이 담수 보다는 해수에서 높아진 경향을 보였으나, 큰 차이를 보이지 않았다. 틸라피아는 담수에서 해수로 급격한 염분변화를 주었을 때 삼투질 농도는 654 mOsm/kg을 나타내 전량 폐사하는 결과를 보였으나(장·허, 1999), 본 연구에서는 472 mOsm/kg으로 장·허(1999)의 결과 보다 낮은 수치를 나타냄으로써 어느 정도 이온 조절이 가능한 것으로 보여진다. 한편 실험종료시 생존율에서 MM과 ML은 염분변화에 의한 폐사개체가 없었으며, MS는 76%의 생존율을 나타냈다. 장·허(1999)의 급격한 염분변화에 따른 송어는 96.5%로 높은 생존율을 보였는데, 본 연구에서 MS와는 차이를 나타냈지만 MM과 ML에서는 비슷한 생존율을 보였다. 그러나 틸라피아는 장·허(1999)의 급격한 염분변화에서 3일째에 전량 폐사했으나, 본 연구에서는 실험종료시까지 생존하는 개체를 볼 수 있었다. 본 연구에서 틸라피아는 25% 이상에서 폐사개체가 많이 발생했는데, 30% 이상에서는 섭식활성이 떨어졌으며, 점액의 과다분비와 행동이상이 관찰되었다. Wedemeyer and McLeay (1981)는 만성 스트레스에 의해 어체는 행동의 변화를 보인다고 하였는데, 틸라피아는 단계적으로 상승되는 염분에 의해 스트레스를 받은 것으로 생각되며, 여러 이온에서 나타난 것과 같이 해수에서는 삼투압 조절에 영향을 받아 폐사개체가 많았던 것으로 추측된다. 그러나 10% 이하에서는 이러한 현상을 관찰할 수 없었다. 성장에 있어서도 송어는 전장, 체중 및 일간성장률에서 틸라피아 보다 높은 성장을 나타냈다. 그러나 틸라피아 TS는 송어에 뒤지지 않는 성장을 보였으며, TM과 TL 보다 이온조절 능력이 우수한 것으로 판단된다.

이상의 연구결과를 종합하여 볼 때, 송어는 삼투압 조절능력이 우수하여 사육수의 염분변화에도 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 그러나 틸라피아는 단계적인 염분변화에 낮은 생존율을 나타내 삼투압 조절을 위한 항상성 유지에 문제가 있는 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 틸라피아 치어는 성장과 생존율 및 삼투압 조절능력에서 성어 보다는 우수한 것으로 인정되며, 틸라피아 치어의 염분변화에 관한 심도있는 연구가 필요하다.

요 약

염분변화에 따른 생리적 반응과 성장 및 생존율에 관한 기초자료를 얻고자, 송어와 틸라피아를 재료로 사육수의 단계적 염분변화에 따른 어체의 크기별 생리적 반응을 조사하였다.

송어의 코티졸 농도는 실험개시시(담수) 보다 사육 35일째(해수)와 실험종료시(담수)까지 계속 해서 높아졌다. 그러나 중형 및 대형 틸라피아는 담수(실험개시시와 종료시)에서 보다 사육 35일째에는 유의하게 높았다. 소형 및 대형 송어의 글루코스 농도는 실험기간동안 유의한 차이가 없었으나, 중형 송어에서는 담수 조건인 실험개시시와 종료시 보다 해수에서 높은 수준을 보였다. 송어의 GOT 활성은 틸라피아에 비해 낮은 활성을 나타냈다. 해수에서 송어의 Na^+ 농도는 160~184 mEq/ℓ를 나타낸 반면, 틸라피아는 200 mEq/ℓ 이상의 수치를 나타냈다. 틸라피아의 Cl^- , K^+ 농도는 해수에서 가장 높은 수준을 보였다. 생존율에 있어 중형 및 대형 송어는 실험종료시까지 폐사 개체가 없었으나, 중형 및 대형 틸라피아는 각각 29%, 55%였다.

참 고 문 헌

- Avella, M., G. Young, P. Prunet and C. B. Schreck. 1990. Plasma prolactin and cortisol concentrations during salinity challenges of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) at smolt and post-smolt stages. *Aquaculture*, 91 : 359-372.
- Donaldson, E. M. 1981. The pituitary-interrenal axis as an indicator of stress in fish. pp. 11-47 in A.D. Pickering.
- Kirsch, R. and M. F. Meister, 1982. Progressive processing of ingested water in the gut of seawater teleosts. *J. Exp. Biol.*, 98 : 67-81.
- Kirsch, R., and W. Humbert and V. Simoneaux, 1985. The gut as an osmoregulatory organ, comparative aspects and special references to fishes. In, R. Gilles and M. Gilles-Baillien (Editors), *Transport Processes, Ion and Osmoregulation*. Springer Verlag, Berlin pp.265-277.
- Laurent, P. and S. Kunel, 1980. Morphology of gill epithelia in fish. *Am. J. Physiol.*, 238 : 147-159.
- Lee, C. S., C. S. Tamaru, C. D. Miyamoto, and C.D. Kelley, 1987. Induced spawning of grey mullet, *Mugil cephalus* by LHRHa. *Aquaculture*, 62 : 327-336.
- Maina, J. N., 1990. A study of the morphology of the gills of an extreme alkalinity and hyperosmotic 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. *Ana. Embryol*, 181 : 83-98.
- Odum, W. E., 1970. Utilization of the direct grazing and plant detritus food chains by the striped mullet, *Mugil cephalus*. In *Marine Food Chains* (J. J. Steels, eds), Oliver and Boyd, Edinburgh, pp.222-240.
- Schreck, C. B., 1982. Stress and rearing of salmonids. *Aquaculture*, 28 : 241-249.
- Specker, J. L., and C. B. Schreck, 1980. Stress response to transportation and fitness for marine survival in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) smolts. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37 : 765-769.
- Strange, R. J., and C. B. Schreck, 1978. Anesthetic and handling stress on survival and cortisol concentration in yearling chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 35 : 345-349.
- Walsh, W. A., C. Swanson, and C. S. Lee, 1991. Combined effects of temperature and salinity

- on development and hatching of striped mullet, *Mugil cephalus*. *Aquaculture*, 97 : 281-289.
- Wedemeyer, G. A., and D. J. Mcleay, 1981. Methods for determining the tolerance of fishes to environmental stressors. pp. 247-275 in A.D. Pickering.
- 김인배 · 우영배, 1988. 순환여과 사육장치에서 틸라피아 성장을 위한 최적 용존산소량. *한국양식학회지*, 1 : 67-73.
- 이영춘 · 장영진 · 이복규, 1997. 어린 송어(*Mugil cephalus*)의 염분별 삼투조절 능력. *한국수산학회지*, 30 : 216-224.
- 장영진 · 이영춘 · 이복규, 1996. 어린 송어(*Mugil cephalus*)의 염분농도별 성장과 생존을 비교. *한국양식학회지*, 9 : 311-320.
- 장영진 · 허준옥, 1999. 사육수의 급격한 염분변화에 따른 송어(*Mugil cephalus*)와 틸라피아(*Oreochromis niloticus*)의 생리적반응. *한국수산학회지*, 32 : 310-316.
- 차형기 · 정희정, 1994. 축제식 송어 양식시험. *국립수산진흥원 사업보고*, 114 : 7-26.
- 池田彌生 · 尾崎久雄 · 瀬崎哲次郎, 1986. 魚類血液圖鑑. 綠書房, 東京, 361pp.