

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

장영진 · 허준욱
부경대학교 수산과학대학 양식학과

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

Young Jin CHANG and Jun Wook HUR

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

Physiological responses (cortisol, glucose, GPT, GOT, total protein, hematocrit, sodium, chloride, potassium, total calcium and osmolality), growth and survival rates of grey mullet (*Mugil cephalus*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by the manipulation of salinity were studied. Salinity was increased directly from freshwater to 33‰ and remained for 15 days. Then, salinity was decreased directly from seawater to freshwater and remained for other 15 days. All tilapias were dead at the third day, but 96.5% of grey mullet were survived at the 30th day. The grey mullet showed no significant differences for cortisol and glucose concentrations in the seawater and freshwater. However, those of the Nile tilapia were increased in seawater. The grey mullet showed no significant differences for sodium, chloride and potassium concentrations during experimental period. However, those of the Nile tilapia were significantly increased when exposed to seawater. The osmolality of grey mullet ranged between 293.5 mOsm/kg and 335.0 mOsm/kg for the whole experimental period.

Key words: grey mullet, Nile tilapia, salinity change, physiological response

서 론

어류양식에서 사육중인 어체가 주로 받는 스트레스로는 handling, confinement, 수송 및 약제투여 등 인위적 요인 (Donaldson, 1981)과 사육밀도 (Wedemeyer and Mcleay, 1981), 수질 (Smart, 1981), 수온 (Fryer, 1975) 및 염분 (Singley and Chavin, 1971) 등 환경적 요인을 들 수 있으며, 이들 요인은 어류의 성장에 영향을 미칠 수 있다. 이중 환경수의 염분은 어류의 삼투압 조절에 영향을 미치는 것으로 급격한 염분의 변화는 어체의 생리조건 악화 및 성장 지연을 초래하는 것으로 알려지고 있다 (Singley and Chavin, 1971).

우리나라에서 6~7월은 장마기간이며, 8~9월은 호우를 동반한 태풍이 내습하는 기간이다. 이 기간중 집중호우에 의한 연안수의 급격한 저염분 현상은 많은 양식장에서 이미 경험한 바 있으며, 양식생산에 있어 좋지 않은 결과를 초래할 수 있다. 환경수의 염분이 변화하면, 어류는 이에 대처하기 위하여 항상성 (homeostasis) 유지측면의 삼투압 조절을 한다 (Morgan and Iwama, 1991).

해산어류인 송어 (*Mugil cephalus*)는 생활사중 많은 시기를 염분변화가 심한 기수지역에서 서식하는 광염성 어류로 알려져 있다 (Thomson, 1968). 치어 및 성어가 우수한 삼투압 조절능력을 지니고 있으며, Chang et al. (1996)과 Lee et al. (1997)은 송어 치어의 염분별 성장과 삼투압 조절능력에 관하여, Chu (1998)는 담수순화 사육을 위한 염분첨가 사료의 효과에 관하여 연구한 바 있다. 한편, 외국에서는 호르몬 처리에 의한 산란유도 (Lee et al., 1987), 부화시 염분의 영향 (Lee et al., 1992; Walsh et al., 1991) 및 자어 대량 사육에 미치는 환경요인 (Eda et al., 1990) 등에 관한 연구가 있으나, 염분변화에 따른 삼투압 조절생리 및 성장에 관한

연구는 찾아보기 어렵다.

또한, 담수어류인 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*)는 다른 담수어류 보다 비교적 강한 염분내성을 가지고 있어 (DeSilva et al., 1986), 해수순화가 가능한 것으로 알려져 있다. 틸라피아의 해수 사육과 관련된 연구로는 부화자의 염분내성과 해수에서의 생존율 (Watanabe et al., 1990), 해수와 담수에서 산소소비율 (Iwama et al., 1997)에 관한 보고가 있으나, 염분변화에 따른 삼투압 조절 생리를 체계적으로 밝힌 연구결과는 미흡한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 송어와 틸라피아를 재료로 하여 사육수의 급격한 염분변화에 따른 생리적 반응과 성장 및 생존율을 파악하여, 담수순화와 해수순화를 위한 기초자료를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험어류와 실험조건

실험에 사용된 송어는 해수에서 종묘생산한 다음 담수에서 사육하던 것이었으며, 틸라피아는 담수에서 계속 사육해 오던 것이었다. 실험은 순환여과 사육시스템에서 실시하였고, 수조는 FRP 원형수조 (250ℓ) 6개로 총 수용적 (水容積)은 1,500ℓ였다.

실험어인 송어와 틸라피아는 2년생으로 각각의 실험수조에 160마리씩 3반복으로 수용하였다. 어체의 전장은 각각 11.5 ± 1.3 cm, 13.0 ± 3.9 cm, 체중은 12.4 ± 0.5 g, 30.7 ± 9.3 g이었다. 실험 기간은 30일간으로 하였으며, 사육수의 염분조절은 Fig. 1과 같이 담수로부터 1일만에 33‰의 해수가 되도록 사육수를 교환하였고, 이로부터 15일 후에 다시 사육수를 담수로 교환하여 15일간 유지하였다.

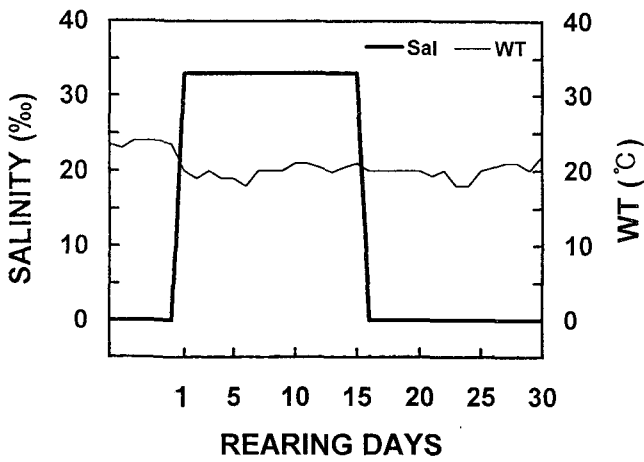


Fig. 1. Controlled rapid salinity changes in rearing of grey mullet and Nile tilapia for the experiments.

2. 사육환경 및 사육관리

실험개시전 어류를 실험수조에 수용하는 과정중 어류의 이동에 따른 스트레스 영향을 최소화하기 위하여, 어체가 충분히 안정되고 섭식이 활발할 때 실험을 실시하였다. 또한 실험어가 스트레스를 받지 않고 안정되도록 실험수조의 상부에 그물을 설치하였다. 실험중 먹이는 잉어종묘용 상품사료를 1일 체중당 3%로 공급하였다. 환수는 매일 사료공급 4시간 후에 150~200 l씩 하였으며, 산소공급을 위해 충분한 에어레이션을 해주었다. 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 $0.02\sim 1.25 \mu\text{g/l}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 는 $0.0004\sim 0.002 \mu\text{g/l}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 는 $0.017\sim 0.04 \mu\text{g/l}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 는 $0.065\sim 0.015 \mu\text{g/l}$ 로서, 송어와 틸라피아의 사육에는 지장이 없는 수질이었다 (Cha and Jung, 1994; Kim and Woo, 1988).

3. 혈액의 채취 및 분석

실험어로부터 혈액을 채취하기 이전에 공급한 먹이가 어체의 혈액성상에 미치는 영향 (池田 等, 1986)을 최소화하기 위하여 채혈 24시간전부터 절식시켰다. 채혈에는 heparin sodium을 처리한 주사기 (1 cc)를 사용하였으며, 각 수조에서 10마리씩 채취하여 1분 이내에 채혈하였다. 채혈 시기는 0, 1, 3, 6, 15, 16, 18, 21 및 30일째로 하였다.

채취한 혈액의 헤마토크리트 (Ht, %)는 micro-hematocrit법 (Micro Hematocrit Reader, Hawksley)에 의해 측정하였다. 이후 남은 혈액을 상온에서 10분 이상 방치하였다가, 원심분리 (12,000 rpm, 5 min)하여 얻은 혈장은 분석전까지 -76°C 에 보관하였다. 혈장 코티졸 농도는 방사선면역측정법 (RIA)에 의해 측정하였으며 (Donaldson, 1981), cortisol RIA kit (DSL, USA)로 항원과 표지항원이 항체에 경쟁적으로 반응하도록 유도한 다음, Hewlett Packard Gamma Counter (USA)로 분석하였다. 혈장 글루코스는 Eiken glucose 측정용 시약 (Japan)을 사용하여 Chemistry Autoanalyzer Hitachi 736-40 (Japan)으로 비색정량하여 분석하였다 (Patricia et al., 1994). GPT (glutamate-pyruvate transaminase), GOT (glutamate-oxaloacetate transaminase), 총단백질량, Na^+ ,

Cl^- , K^+ , 총Ca 농도의 측정에는 건식 혈액분석기 (Ektachem DT-II analyzer, Eastman Kodak Co., USA)를 사용하였다. 혈장의 삼투질 농도측정은 Micro Osmometer (Model 3MO, USA)에 의하였다.

4. 성장과 생존율 측정

각 실험에서 어체의 성장을 조사하기 위하여 실험개시시와 실험종료시에 각 수조에서 30마리씩 무작위 추출하여 전장과 체중을 측정하였다. 전장의 측정에는 1 mm 눈금의 계측판을 이용하였고, 체중은 전자저울 (AND FS-6K, Australia)을 이용하여 1/100까지 측정하였다. 실험종료시 이들 값으로부터 전장성장률, 체중성장률 및 비만도를 계산하였다.

5. 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 송어 혈액의 코티졸 농도는 $22.8 \pm 11.9 \text{ ng/ml}$ 였으나, 해수사육 1일째에 $12.5 \pm 6.6 \text{ ng/ml}$ 로 낮아졌으며, 3일째에는 더욱 낮은 값을 보였다. 그러나 해수사육 15일째에는 $30.9 \pm 22.9 \text{ ng/ml}$ 로 실험개시시 보다 높아졌다. 사육 16일째 해수로부터 담수 (0‰)로 바꾸었을 때 코티졸 농도는 $1.0 \pm 0.0 \text{ ng/ml}$ 로 급격히 낮아지는 경향을 나타냈다. 이후 3일간 담수사육 (사육 18일째)에는 해수사육시의 수준으로 높아지는 경향을 보였다. 그러나 전실험기간 동안 코티졸 농도 사이에 유의한 차이는 없었다. 한편 실험개시시 틸라피아 혈액의 코티졸 농도는 $40.7 \pm 22.1 \text{ ng/ml}$ 였으며, 해수사육 1일째에 담수에서 보다 약 3배 높아졌으며, 해수사육 3일째에는 담수에 있을 때 보다 5배 높아진 $211.0 \pm 196.6 \text{ ng/ml}$ 였다 (Fig. 2).

글루코스 농도는 Fig. 2와 같이, 송어는 실험개시시 $0.30 \pm 0.03 \text{ mg/ml}$, 해수사육 1일째 $0.32 \pm 0.02 \text{ mg/ml}$ 로 서로 비슷한 값을 보였으나, 해수사육 15일째에는 $0.35 \pm 0.09 \text{ mg/ml}$ 로 약간 높아졌다. 이후 다시 담수환경으로 바뀌어진 사육 16일째에는 $0.50 \pm 0.25 \text{ mg/ml}$ 로 높아졌으나, 유의한 차이는 없었다. 틸라피아의 글루코스 농도는 실험개시시 $0.37 \pm 0.02 \text{ mg/ml}$ 였으나, 해수사육 1일째에는 $0.68 \pm 0.06 \text{ mg/ml}$ 로 유의하게 높아졌다 (P<0.05).

2. Ht, GPT, GOT 및 혈장의 총단백질량

실험어 혈액의 Ht, GPT, GOT 및 총단백질량의 변화경향은 Table 1과 같다.

송어의 Ht는 실험개시시 $33.2 \pm 4.1\%$ 였던 것이, 해수사육과 담수사육 모두에서 약간씩 감소하였다. 틸라피아도 송어와 같이 감소하는 경향을 나타냈으며, 실험개시시 $26.6 \pm 1.4\%$ 로부터 해수

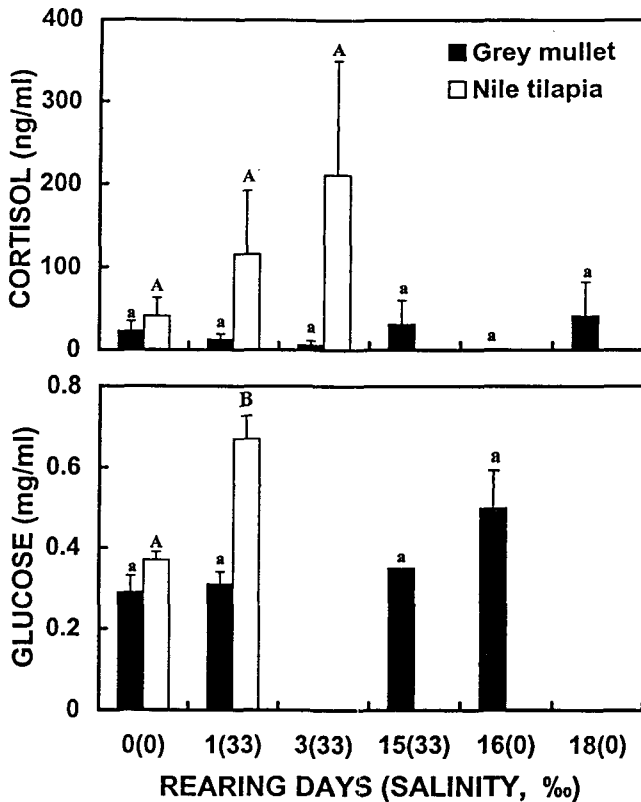


Fig. 2. Concentrations of plasma cortisol and glucose of grey mullet and Nile tilapia reared under the conditions of rapid salinity change. Different alphabetic letters on the same color bars are significantly different ($P < 0.05$).

사육 3일째에는 $22.6 \pm 0.4\%$ 로 유의하게 감소하였다.

GPT 활성은 실험개시시 송어는 6.0 ± 4.0 , 틸라피아는 2.0 ± 0.0 이었다. 해수사육 1, 3일째에 송어는 ≤ 2.0 으로 낮아지다가 이후 15일째에는 5.5 ± 3.5 로 증가하였다. 담수로 바꾸어준 후에는 1일과 3일째에 낮아졌으나, 담수사육 15일째에는 7.5 ± 5.5 로 증가했다. 틸라피아는 해수사육 시간의 경과에 따라 높아졌는데, 3일째에는 12.5 ± 4.5 로 실험개시시의 약 6배로 급격히 높아진 수준을 보였다. 또한 틸라피아는 해수사육 3일째에 유의한 차이를 나타냈다 ($P < 0.05$). 틸라피아의 GOT는 실험개시시에 161.0 ± 43.0 으로 송어 보다 약 4배 높은 수치를 보였지만, 해수환경에서는 감소되는 경향을 나타냈다. 그러나 송어는 해수사육 3일째에 86.0 ± 17.0 으로 높아졌다가, 15일째에는 32.0 ± 29.0 으로 감소하였다.

혈장의 총단백질량은 송어에서 실험개시시 보다 해수와 담수사육시에 상승되는 경향을 나타냈다. 해수사육 15일째에는 25.5 ± 0.4 mg/ml였으며, 실험 16일째 (담수사육 1일째)에는 23.5 ± 0.5 mg/ml로 감소하였다. 실험종료시에는 가장 높은 26.0 ± 1.0 mg/ml였으나, 실험기간중 측정값은 유의한 차이를 나타내지 않았다. 틸라피아는 해수사육 3일째에 20.0 ± 0.0 mg/ml로 실험개시시의 22.5 ± 0.4 mg/ml와 유의한 차이를 나타냈다.

3. 혈장의 전해질과 삼투질 농도

실험어 혈장의 Na^+ , Cl^- , K^+ 및 총Ca 농도 변화경향은 Fig. 3과

같다.

Na^+ 은 송어에서 전실험기간 동안 큰 차이를 보이지 않았으나, 틸라피아는 해수사육 3일째에 225.5 ± 0.5 mEq/l로 나타나, 실험개시시 보다 45 mEq/l 높은 수준이었다 ($P < 0.05$).

송어의 Cl^- 농도는 Na^+ 과 같이, 전실험기간 동안 실험개시시와 유의한 차이없이 118~143.5 mEq/l의 범위를 보였다. 틸라피아는 실험개시시 150.0 ± 0.0 mEq/l에서 해수사육 1일째에 145.0 ± 5.0 mEq/l로 감소했다가 3일째에는 161.0 ± 1.0 mEq/l로 높아졌다.

K^+ 농도는 송어에서 2.2~3.3 mEq/l의 범위로 실험기간중 유의차는 없었다. 틸라피아에서는 실험개시시에 3.8 ± 0.1 mEq/l였으나, 1일째에는 약간 감소하였으며, 3일째에는 8.6 ± 1.0 mEq/l로 실험개시시 보다 약 2배 높아진 수준을 보였다.

송어의 총Ca 농도는 실험종료시에 131.5 ± 28.5 μ g/ml로 가장 높은 값을 보여 실험개시시와 차이를 나타냈다. 틸라피아는 실험개시시와 해수사육 1일째에는 차이가 없었으나, 3일째에는 160.0 ± 0.0 μ m/ml로 유의하게 높아졌다.

송어의 삼투질 농도는 전실험기간 동안 293.5~335.0 mOsm/kg 범위를 나타냈으며, 틸라피아는 실험개시시 310.5 ± 3.5 mOsm/kg였던 것이 해수사육 1일째는 실험개시시와 차이를 보이지 않았으나, 3일째에는 653.8 ± 6.8 mOsm/kg으로 유의하게 높아졌다 (Fig. 4).

4. 성장 및 생존율

송어의 전장은 실험개시시 11.5 ± 0.8 cm였던 것이, 실험종료시인 30일 후에는 12.3 ± 0.6 cm로 성장하였다. 전장성장률과 일간 전장성장률은 각각 $7.3 \pm 2.4\%$, $2.7 \pm 0.7\%$ 였다. 체중은 실험개시시 13.0 ± 2.3 g이었던 것이 실험종료시에는 15.8 ± 1.9 g으로 성장하였으며, 체중성장률은 $25.1 \pm 8.9\%$ 였다. 실험기간중 비만도는 8.3 ± 0.1 이었다 (Table 2).

실험종료시 송어의 생존율은 Fig. 5와 같이 $96.5 \pm 1.4\%$ 였으며, 폐사어는 해수사육시에 한 실험구에서 2마리, 이후 해수에서 담수로 사육수를 교환한 1일째에 2마리가 발생하였다. 틸라피아는 해수사육 1일째에는 폐사 개체가 발견되지 않았으나, 2일째에 생존율 5%, 이후 3일째에 모두 폐사하였다.

Table 1. Variations of Ht, GPT, GOT and total protein of grey mullet (GM) and Nile tilapia (NT) reared under the conditions of rapid salinity change

Rearing days (‰)	Species	Ht (%)	GPT	GOT	Total protein (mg/ml)
0 (0)	GM	33.2 ± 4.1^a	60 ± 4.0^{ab}	360 ± 33.0	21.5 ± 0.4
	NT	26.6 ± 1.4^a	$\leq 2.0^b$	161.0 ± 43.0	22.5 ± 0.4^a
1 (33)	GM	30.7 ± 3.5^{ab}	$\leq 2.0^b$	45.5 ± 11.5	22.0 ± 0.8
	NT	25.9 ± 1.2^{AB}	$\leq 2.0^b$	76.0 ± 6.0	21.5 ± 0.4^{AB}
3 (33)	GM	26.5 ± 1.8^{abc}	$\leq 2.0^b$	86.0 ± 17.0	24.5 ± 2.5
	NT	22.3 ± 0.4^B	12.5 ± 4.5^A	40.5 ± 14.5	20.0 ± 0.0^B
15 (33)	GM	26.7 ± 1.0^{abc}	5.5 ± 3.5^{ab}	32.0 ± 29.0	25.5 ± 0.4
16 (0)	GM	22.6 ± 1.2^c	4.5 ± 2.5^{ab}	76.5 ± 21.5	23.5 ± 0.5
18 (0)	GM	22.9 ± 2.7^c	5.0 ± 3.0^{ab}	15.0 ± 12.0	25.0 ± 4.0
30 (0)	GM	24.9 ± 1.1^{bc}	7.5 ± 5.5^a	40.5 ± 12.5	26.0 ± 1.0

Values are mean \pm S.E.M.

Values within the same column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

고 찰

해양에 서식하는 어류는 부적당한 환경에 노출되면 빠른 시간 내에 도피하거나, 은신행동을 취한다. 그러나 양식중의 어류는 제한된 공간에서 사육되므로 이러한 반응을 보이기 어렵다. 어류는 스트레스를 받게되면, 전해질 농도조절의 혼란 (Avella et al., 1990; Robertson et al., 1988)과 스트레스를 경감시키기 위한 에너지 소모의 증가 (Barton and Iwama, 1991; Pickering, 1992)가 초래되어 궁극적으로 성장이 둔화되는 현상을 보이게 된다 (Pickering et al., 1989).

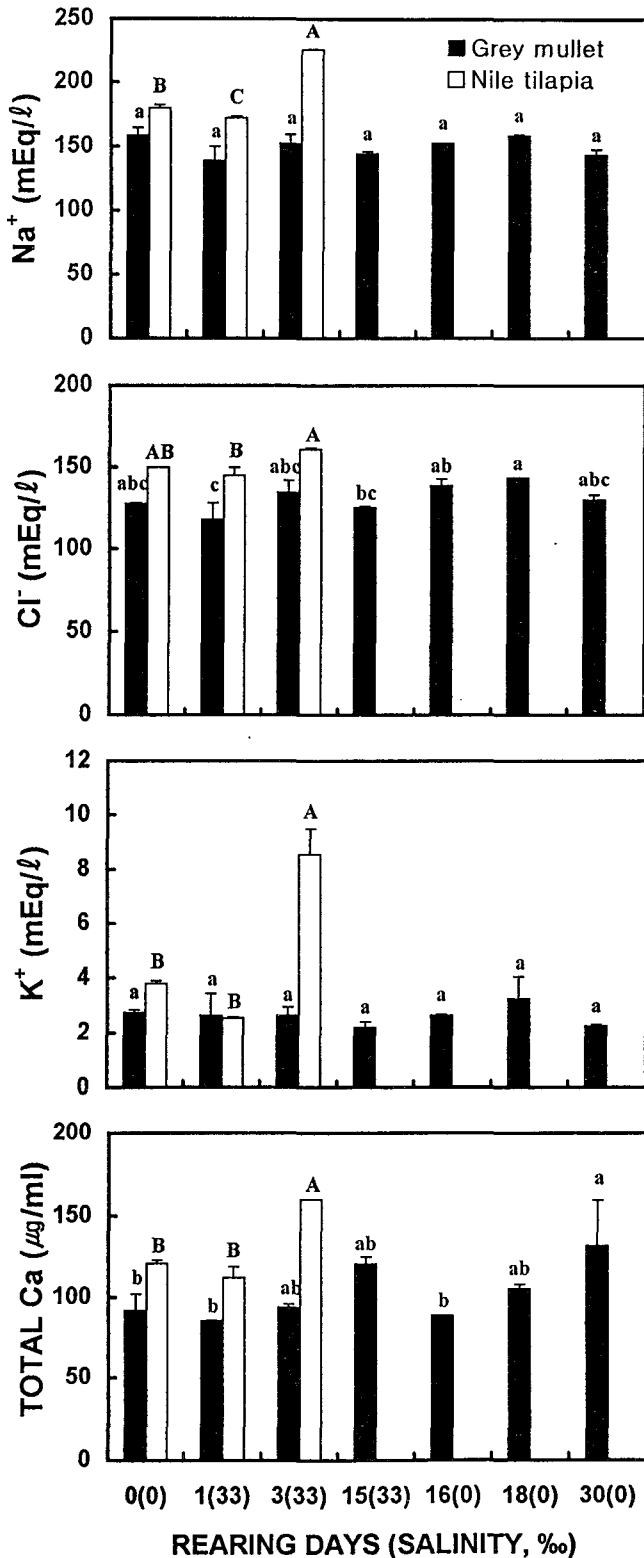


Fig. 3. Concentrations of plasma sodium, chloride, potassium and total calcium of grey mullet and Nile tilapia reared under the conditions of rapid salinity change. Different alphabetic letters on the same color bars are significantly different ($P < 0.05$).

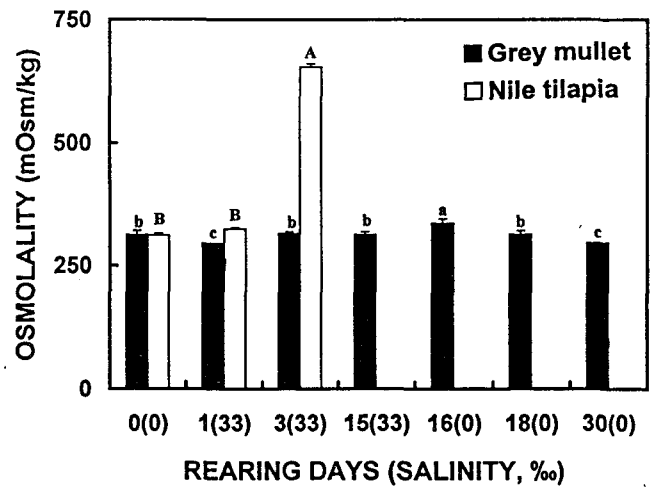


Fig. 4. Plasma osmolalities of grey mullet and Nile tilapia reared under the conditions of rapid salinity change. Different alphabetic letters on the same color bars are significantly different ($P < 0.05$).

Table 2. Growth results of grey mullet and Nile tilapia under the conditions of rapid salinity change

	Grey mullet	Nile tilapia
Total length (cm) Initial	11.5 ± 0.8	12.4 ± 0.3
Final	12.3 ± 0.6	—
Body weight (g) Initial	13.0 ± 2.3	30.7 ± 5.4
Final	15.8 ± 1.9	—
GRL (%)	7.3 ± 2.4	—
GRW (%)	25.1 ± 8.9	—
SGRL (%)	2.7 ± 0.7	—
SGRW (%)	9.5 ± 1.6	—
Condition factor	8.3 ± 0.1	—

Values are mean ± S.E.M.

GRL : [final mean total length]-[initial mean total length]×100/[initial mean total length]

GRW : [final mean body wt.]-[initial mean body wt.]×100/[initial mean body wt.]

SGRL : [final mean total length]-[initial mean total length]×100/rearing days

SGRW : [final mean body wt.]-[initial mean body wt.]×100/rearing days

Condition factor : (body wt./total length³)×1,000

GRL: growth rate for total length, GRW: growth rate for body weight, SGRL: specific growth rate for total length, SGRW: specific growth rate for body weight.

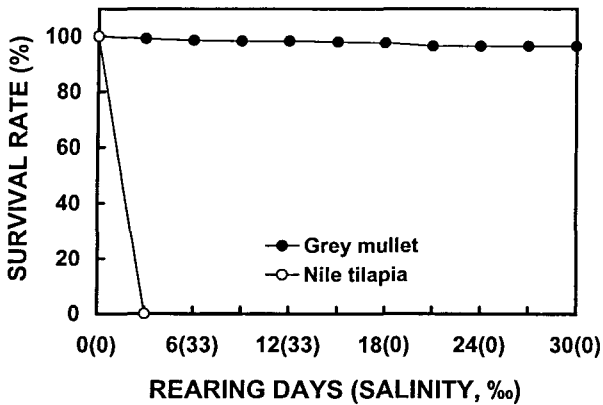


Fig. 5. Survival rates of grey mullet and Nile tilapia reared under the conditions of rapid salinity change.

경골어류는 급성 스트레스를 받게 되면 항상성을 유지하지 못하여 폐사에 이를 수 있고 (Strange et al., 1978), 만성 스트레스를 받게 되면 성장감소, 행동변화 및 질병에 대한 저항력이 떨어질 수 있다 (Wedemeyer and McLeay, 1981). 어류의 혈장 코티졸과 글루코스는 어체가 받는 스트레스의 지표로서 인정되고 있다 (Wedemeyer and Yasutake, 1977). 또한 혈액의 젖산, 지질, 전해질, 헤모글로빈, 단백질, Ht 및 간 글리코겐 등의 변화로도 스트레스 여부를 판정할 수 있다 (Schreck, 1982). 이 요소들 역시 스트레스는 물론, 어체의 생리활성 평가에 있어 지표가 된다 (Wedemeyer and McLeay, 1981).

송어의 혈중 코티졸 농도는 담수와 해수환경에서 유의한 차이를 보이지 않았고, 틸라피아에서는 해수사육 1일째부터 코티졸 농도가 높아지기 시작하여 해수사육 3일째에는 실험개시시 보다 5배나 증가된 수준을 나타냈다. Barton and Iwama (1991)는 코티졸 농도의 증가가 없는 것은 스트레스를 받지 않음을 의미한다고 하였는데, 본 실험에서 담수에서 사육해오던 송어의 해수사육에 따른 스트레스는 적은 것으로 보여진다. 그러나 틸라피아는 해수사육시에 스트레스를 크게 받고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 해수노출에 따른 삼투압 조절과 같은 항상성 유지를 위하여 시상하부의 신경세포(삼투압 수용기)가 노출자극을 감지 증폭시켜 뇌하수체로 전달하고 (姜 等, 1993), 이때 뇌하수체에서는 아세틸콜린을 분비하여 부신을 자극하며, 부신피질은 코티졸을 분비하여 혈중 코티졸 농도를 높게 한다 (Tam et al., 1987). 코티졸은 아가미 염류세포의 Na^+ , K^+ -ATPase 활성을 자극하여 (Mayer-Gostan et al., 1987) 능동수송에 의한 Na^+ 펌프 작동을 증진시킨다. 이와 동시에 코티졸은 혈당 이용을 억제하여 (Laycock and Wish, 1983), 혈중 글루코스의 농도를 증가시킨다 (Tam et al., 1987). 본 연구에서 송어는 해수사육 후 담수노출 1일째에 급격하게 감소하는 경향을 보였는데, 본 연구에서는 측정하지 않았지만, 기수 및 담수어종에 있어서 삼투압 조절생리에 필수적인 호르몬으로 알려져 있는 프로락틴의 영향 (Bern, 1983)으로 사료되며, 앞으로 이 부분에 대한 연구가 필요하다. 또한 송어의 해수사육과

담수사육에 따른 글루코스 농도는 코티졸 농도와 같은 변화 경향을 보여 차이가 없었다. 한편 틸라피아의 코티졸 농도에서는 유의한 차이를 보이지 않았으나, 글루코스는 해수사육 1일째 유의하게 높아진 수치를 나타냈다. 일반적으로 글루코스는 스트레스에 의해 증가되며 (Olsen et al., 1995), Barton and Iwama (1991)는 코티졸 농도가 높아짐에 따라 글루코스 농도가 높아지는 현상은 스트레스에 대한 호르몬 반응에 뒤따른 2차반응의 결과라고 하였다. 따라서 틸라피아의 글루코스 농도는 해수사육에 따라 어체가 스트레스를 받을 때 분비되는 코티졸의 작용으로 글루코스 신생합성 (gluconeogenesis)을 위한 효소 활성이 높아져 증가되는 것으로 보여진다 (Barton and Iwama 1991; Davis et al., 1985). 본 연구에서의 송어는 위와 같은 경향을 나타내지 않았지만, 틸라피아는 유사한 경향을 나타냈다.

어체 혈액의 GPT와 GOT는 모두 아미노기의 전이효소의 일종으로 간세포 등에 존재하면서 어체가 건강할 때는 혈중 활성은 낮다가 조직이 비정상적이거나 병적 증상이 나타날 때는 세포외로 방출됨으로써 혈중 활성이 높아진다 (池田 等, 1986). 본 연구에서 송어의 GPT와 GOT 활성은 서로 상반된 결과를 나타냈는데, GOT는 해수사육에 따라 높아지는 반면, GPT는 낮아지는 경향을 보였다. 송어의 GPT와 GOT 활성은 해수사육 15일째와 실험종료 시에는 실험개시시와 같은 수준을 보임으로써, 에너지 수급차원에서 회복중에 있음을 알 수 있었다. 그러나 틸라피아의 GOT 활성은 해수사육에서 낮아지는 경향을 보였으나, GPT는 해수사육 1일째에는 실험개시시와 차이를 나타내지 않았다가, 해수사육 3일째에는 유의하게 높아져 에너지 수급에 문제가 있음을 암시하고 있다. 혈장의 총단백질량은 송어에서 해수와 담수사육에 따라 유의한 차이를 나타내지 않았다. 해수사육에 따른 송어는 약간씩 많아지는 경향이었는데, 이는 어체보다 고장 (hypertonic)인 해수환경에 대하여 적응하는 수준임을 보여주고 있다. 그러나 사육 16일째에는 다소 적어진 수치를 나타냈는데, 이는 체액보다 저장인 담수환경에 적응하기 위해 많은 에너지를 소비했던 것으로 보인다. 이후 송어는 3일째와 15일째에 해수사육 15일째와 같은 수준을 나타냄으로써, 빠르게 담수환경에 적응한 것으로 판단된다. 그러나 틸라피아에서 해수사육 1, 3일째에 실험개시시 보다 총단백질량이 감소된 것은 체액보다 고장인 해수환경에서 삼투압 조절을 위하여 당질, 지질 등의 에너지원을 모두 소모하게 되면, 다음으로 단백질 분해에 의해 생성된 아미노산이 에너지원으로 동원되는데, 이때 어체에서 에너지의 과다소비가 일어났음을 암시하는 것으로 생각된다.

송어의 Na^+ 과 Cl^- 농도는 해수사육 1일째 급격한 염분변화에 의해 낮아졌는데, 이는 고장의 환경수로부터 Na^+ 과 Cl^- 농도는 어체내로 유입되어 전해질을 조절하기 위하여 Na^+ 펌프 작동이 활발했던 것으로 추측된다. 이후 해수사육 15일째에는 다시 실험개시시에 수준을 나타냄으로써 고장의 해수환경에 적응된 경향을 보여주고 있다. 또한 담수노출 1일째에는 해수사육 1일째와는 상반된 경향을 보였는데, 사육수가 저장 환경인 담수로 교환됨으로써, 어체가 Na^+ 과 Cl^- 을 체내에 보유하려는 작용으로 봐진다. K^+ 농도에 있어서도 송어는 해수사육과 담수사육에 따른 유의한 차

이를 나타내지 않았으나, 틸라피아는 해수사육 3일째에 유의한 증가를 보임으로써, K^+ 농도의 조절이 어려웠음을 알 수 있다. 경골어류에서 K^+ 은 혈중에서 보다 세포내에 많은 농도로 존재하고 있는데(板澤·羽生, 1991), 혈액의 과다한 K^+ 농도는 항상성 유지를 위한 Na^+/K^+ 펌프 작동에 문제가 있는 것으로 추측된다. 송어는 해수사육 1일째에는 이온농도들의 변화에서와 같이, 사육수의 염분을 담수조건으로 바꾼 1일째에는 약간 높은 삼투질 농도를 나타냈다. 또한 송어는 해수사육 3일과 사육 18일째(담수사육 3일째)는 실험개시시와 해수사육 15일째와 같은 수준으로 회복된 것으로 생각되나, 틸라피아는 해수사육 1일째에 실험개시시와 유의한 차이를 보이지 않았지만, 3일째에는 유의한 삼투질 농도증가를 나타냈다. 따라서 송어는 해수사육 1일째에 고장의 환경인 해수에서 체내의 항상성을 유지하기 위하여 저삼투압 조절(hypo-osmoregulation)을 하며, 담수노출 1일째에는 저장의 환경에 대하여 고삼투압 조절(hyper-osmoregulation)을 하는 것으로 간주된다. 연어과 어류인 coho salmon에서는 해수노출에 따라 혈중 코티졸의 농도증가(Young, 1985)가 일어나고, 이에 따른 Na^+ , K^+ -ATPase 활성증가(McCormick and Bern, 1989)로 Na^+ 농도는 낮아짐으로써, 항상성 유지를 위한 저삼투압 조절의 일련과정(Young et al., 1989)이 보고된 바 있다. 한편, 대서양연어(*Salmo salar*)에서 코티졸 농도는 증가되지 않았으나, 해수노출에 따른 저삼투압 조절이 밝혀진 바(Nichols and Weisbart, 1985) 있어, 본 연구에서도 송어의 코티졸 농도는 증가되지 않았으나, 전해질 농도변화의 경향으로 보아 저삼투압 조절이 이루어졌던 것으로 판단된다. 그러나 틸라피아에서는 송어와 반대로 코티졸 농도가 증가하였지만, 대사 지표인 GPT, 총단백질량과 전해질 지표인 Na^+ , Cl^- 및 K^+ 등의 변화경향으로 미루어 볼 때, 해수사육 1일째에는 삼투압 조절이 어느 정도 이루어지다가 2일째부터는 삼투압 조절에 에너지를 과다 소비하여 체내 항상성이 붕괴되었던 것으로 추측된다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때, 송어는 삼투압 조절능력이 우수하여 사육수의 염분변화에 큰 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 그러나 나일틸라피아는 송어와 비교하여 삼투압 조절능력에 차이를 나타냈으며, 급격한 염분변화에 영향을 크게 받는 어종인 것으로 생각된다.

요 약

염분변화에 따른 생리적 반응과 성장 및 생존율에 관한 기초자료를 얻고자, 해수와 담수에서 광염성 어류로 알려진 송어와 틸라피아를 재료로 급격한 염분변화 조건에서 어체의 생리적 변화를 조사하였다.

송어의 코티졸 농도와 글루코스 농도는 해수사육과 담수사육에 유의한 차이를 보이지 않았다. 틸라피아는 해수사육에 따른 증가하는 경향을 나타냈다. 송어의 Na^+ , Cl^- 및 K^+ 농도는 실험개시시와 차이를 나타내지 않았다. 그러나 틸라피아는 해수사육에 따른 유의한 증가를 보였다. 송어의 삼투질농도는 293.5~335 mOsm/kg 범위를 보였다. 틸라피아는 해수사육 3일째 유의한 증

가를 보였다. 생존율에 있어 송어는 96.5%를 보였고, 틸라피아는 해수사육 3일만에 전량 폐사하였다.

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.
- Barton, B.A. and G.K. Iwama. 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annual Rev. Fish. Dis.*, 1991, 3~26.
- Bern, H.A. 1983. Functional evolution of prolactin and growth hormone in lower vertebrates. *Am. Zool.*, 23, 663~671.
- 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., Y.C. Lee. and B.K. Lee. 1996. Comparison of growth and survival rates of juvenile grey mullets (*Mugil cephalus*) in different salinities. *J. Aquacult.*, 9, 311~320 (in Korean).
- Chu C., 1998. Effect of salt mixed feed on freshwater adaptation of juvenile grey mullet (*Mugil cephalus*). A paper of master's degree. Pukyong National University. 45pp. (in Korean).
- Davis, K.B., P. Torrance, N.C. Parker and M.A. Suttle. 1985. Growth, body composition, and hepatic tyrosine aminotransferase activity in cortisol fed channel catfish, *Ictalurus punctatus* Rafinesque. *J. Fish Biol.*, 27, 177~184.
- DeSilva, C.D., S. Premawansa and C.N. Keembiyahetty. 1986. Oxygen consumption in *Oreochromis niloticus* in relation to development, salinity, temperature and time of day. *J. Fish Biol.*, 29, 267~277.
- Donaldson, E.M. 1981. The pituitary-interrenal axis as an indicator of stress in fish. pp. 11~47 in A.D. Pickering.
- Eda, H., R. Murashige, Y. Ooxeki, A. Hagiwara, B. Eastham, P. Bass, C.S. Tamaru, and C.S. Lee. 1990. Reactors affecting intensive larval rearing of striped mullet, *Mugil cephalus*. *Aquaculture*, 91, 281~294.
- Fryer, J.N., 1975. Stress and adrenocorticosteroid dynamics in the goldfish, *Carassius auratus*. *Can. J. Zool.*, 53, 1011~1020.
- Iwama, G.K., A. Takemura and K. Takano. 1997. Oxygen consumption rates of tilapia in fresh water, seawater, and hypersaline seawater. *J. Fish Biol.*, 51, 886~894.
- 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).
- Laycock, J. and P. Wish. 1983. *Essential Endocrinology*. 2nd. Oxford University Press, Oxford., 371pp.
- Lee, C.S., C.S. Tamaru, C.D. Kelley, A. Moriwake, and G.T. Miyamoto. 1992. The effect of salinity on the induction of spawning and fertilization in the striped mullet, *Mugil cephalus*. *Aquaculture*, 101, 289~296.
- 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.
- 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).
- Mayer-Gostan, N., S.E. Wendelaar Bonga and P. Balm. 1987. Mechanisms of hormone action on gill transport. Academic Press, San Diego, 211~238.
- McCormick, S.D. and H.A. Bern. 1989. In vitro stimulation of Na⁺, K⁺-ATPase activity and ouabain binding by cortisol in coho salmon gill. Am. J. Physiol., 256, 707~715.
- Morgan, J.D. and G.K. Iwama. 1991. Effects of salinity on growth, metabolism, and ion regulation in juvenile rainbow trout and steel head trout (*Oncorhynchus mykiss*) and fall chinook salmon (*Oncorhynchus kisutch*). Can. J. Fish. Aquat. Sci., 48, 2083~2094.
- Nichols, D.J. and M. Weisbart. 1985. Cortisol dynamics during seawater adaptation of Atlantic salmon, *Salmo salar*. Am. J. Physiol., 248, 651~659.
- Olsen, Y.A., I.E. Einarsdottir and K.J. Nissen. 1995. Metomidate anaesthesia in Atlantic salmon, *Salmo salar*, prevents plasma cortisol increase during stress. Aquaculture, 134, 155~168.
- Patricia, M., Steven M., Plakas and Guy R. Stehly. 1994. Effect of dorsal aorta cannulation on the stress response of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Fish Physiol. Biochem., 12, 439~444.
- Pickering, A.D. 1992. Rainbow trout husbandry: management of the stress response. Aquaculture, 100, 125~139.
- Pickering, A.D., T.G. Pottinger and J.F. Carragher. 1989. Differences in the sensitivity of brown trout, *Salmo trutta*, and rainbow trout, *Salmo gairdneri richardson*, to physiological doses of cortisol. J. Fish Biol., 34, 757~768.
- Robertson, L., P. Thomas and C.R. Arnold. 1988. Plasma cortisol and secondary stress responses of cultured red drum (*Sciaenops celtatus*) to several transportation procedure. Aquaculture, 68, 115~130.
- Schreck, C.B. 1982. Stress and rearing of salmonids. Aquaculture, 28, 241~249.
- Singley, J.A. and W. Chavín. 1971. Cortisol levels of normal goldfish, *Carassius auratus* L., and response to osmotic change. Am. Zool., 11, 653pp.
- Smart, G.R. 1981. Aspects of water quality producing stress in intensive fish culture. pp. 277~293 in A.D. Pickering.
- 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.
- Tam, W.H., L. Birkett, R. Makaran, P.D. Payson, D.K. Whitney and C.K.C. Yu. 1987. Modification of carbohydrate metabolism and liver vitellogenic function in brook trout (*Salvelinus fontinalis*) by exposure to low pH. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 44, 630~635.
- Thomson, J.M.. 1968. The grey mullets. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 4, 301~305.
- 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.
- Watanabe, W., L.J. Ellingson, B. Olla, D.H. Ernst and R.I. Wicklund. 1990. Salinity tolerance and seawater survival vary ontogenetically in florida red tilapia. Aquaculture, 87, 311~321.
- Wedemeyer, G.A., and D.J. McLeay. 1981. Methods for determining the tolerance of fishes to environmental stressors. pp. 247~275.
- Wedemeyer, G.A., and W.T. Yasutake. 1977. Clinical methods for the assessment of the effects of environmental stress on fish health. U.S. Fish and Wildlife Service Technical Pap. 89.
- Young, G.. 1985. In vitro studies on interrenal gland activity during smoltification of coho salmon. Aquaculture, 45, 391~392.
- Young, G., B.T. Bjornsson, P. Prunet, R.J. Lin and H.A. Bern. 1989. Smoltification and seawater adaptation on coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*): plasma prolactin, growth hormone, thyroid hormones and cortisol. Gen. Comp. Endocrinol., 74, 335~345.
- 姜萬植 · 南相烈 · 李陽林 · 安泰仁. 1993. 動物生理學. 教學研究社. 서울, 580pp.
- 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.
- 板澤靖男 · 羽生功. 1991. 魚類生理學. 恒星社厚生閣. 東京. 128pp.

1999년 2월 9일 접수

1999년 5월 7일 수리