

담수 및 해수에서 순화 사육한 감성돔, *Acanthopagrus schlegeli*의 생리상태 비교

민병화, 최철영¹, 장영진*
부경대학교 수산과학대학 양식학과
¹한국해양대학교 해양·환경생명과학부

Comparison of Physiological Conditions on Black Porgy, *Acanthopagrus schlegeli* Acclimated and Reared in Freshwater and Seawater

Byung Hwa Min, Cheol Young Choi¹ and Young Jin Chang
Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea
¹Division of Marine Environment & Bioscience, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

This study was conducted to compare the physiological conditions of black porgy (*Acanthopagrus schlegeli*) when reared in freshwater (0 psu) and seawater (35 psu) during 90 days. In terms of stress response, there was no significant difference in cortisol levels of the fish reared either freshwater or seawater until 60 days. Although cortisol level of fish reared in freshwater (12.6±5.0 ng/ml) was significantly higher than in seawater (4.5±2.9 ng/ml) at the end of experiment, these values were stable levels as compared with that of non-stressed fish. No significant differences in plasma osmolalities were recognized between the fish reared in freshwater (346.7±4.6~356.5±2.1 mOsm/kg) and seawater (350.0±2.0~357.0±22.6 mOsm/kg). Normal structure of gill lamellae without histological damage or cell necrosis has been observed in the fish reared in freshwater. In connection with growth and survival rate, total length and body weight of fish reared in freshwater were slightly longer and higher than those of fish reared in seawater. Survival rate of black porgy reared in freshwater was slightly higher than that of fish reared in seawater, but there was no significant difference. The results suggest that black porgy is reared with normal growth rate in freshwater without stress.

Keywords: Black porgy, *Acanthopagrus schlegeli*, Freshwater rearing, Stress, Osmoregulation, Growth, Survival

서 론

감성돔, *Acanthopagrus schlegeli*은 송어, *Mugil cephalus*, 농어, *Lateolabrax japonicus*, 틸라피아, *Oreochromis mossambicus* 등과 함께 염분 내성이 강한 광염성 경골어종(euryhaline teleost)으로서(Kimura and Tanaka, 1991), 이들 어류의 우수한 삼투압 조절 능력을 응용한 담수양식에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이와 관련하여 급격한 염분변화에 따른 감성돔의 혈액 생리학적 변화(Chang et al., 2002)와 감성돔의 담수순화시 어체의 혈장 cortisol, glucose 및 삼투질농도 등(Min et al., 2003)에 관한 실험결과가 보고된 바 있다. 감성돔의 담수양식이 이루어진다면, 담수에서 경제성 있는 고가어종의 생산이 가능하게 되

어 내수면 어류양식업의 활성화를 꾀할 수 있을 뿐만 아니라, 적조로 인한 피해 감소, 감성돔을 포함한 광염성 어류질병의 삼투압치료 등 여러 가지 이점도 기대할 수 있다. 그러나, 사육수의 염분변화는 어류의 삼투압조절과 관련된 스트레스 요인으로 작용하여(André and Adalto, 2002; Min et al., 2003) hematocrit (Ht), 혈중 cortisol, glucose (Chang et al., 2002; Chang and Hur, 1999) 및 aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT) (Hur and Chang, 1999)를 상승시킨다. 또한 이러한 스트레스가 지속되면 어병에 대한 저항성이 감소하게 되고, 어류의 성장 및 번식능력이 떨어지는 것으로 알려져 있다(Wedemeyer and Yasutake, 1977; Pickering et al., 1987). 따라서, 감성돔의 성공적인 담수양식을 위해서는 생존율을 최대한 높임과 동시에 스트레스를 최소화할 수 있는 담수순화 방법의 개발뿐만 아니라 장기간 담수사육에 따른 어체의 생리상태의 파악이 필요하

*Corresponding author: yjchang@pknu.ac.kr

다. Min et al. (2003)은 감성돔을 10 psu 해수에 3일간 유지한 다음 담수로 옮겼을 경우, 실험종료시에 혈장 cortisol, glucose 및 삼투질농도가 해수사육한 감성돔과 거의 동일하다고 보고하였으며, 이러한 결과를 통해 감성돔의 담수순화시 해수에서 담수로의 염분변화 방법은 어체가 저삼투압조절(hypo-osmoregulation)에서 고삼투압조절(hyper-osmoregulation) 상태로 완전히 전환할 수 있는 시간이 필요한 단계적인 염분변화가 적합하다고 하였다. 그러나, 담수순화 과정이 종료된 감성돔을 장기간 담수사육하였을 때의 스트레스 반응이나 성장 및 생존율 등에 관한 연구결과는 아직 얻어내지 못하고 있다.

본 연구에서는 감성돔의 장기간 담수 및 해수사육을 통해 어체의 스트레스 반응(cortisol, glucose, Ht, AST 및 ALT), 삼투압조절 능력(Na^+ , K^+ , Cl^- 및 삼투질농도), 성장 및 생존율을 조사하여 감성돔의 담수양식 가능성을 타진해 보고자 하였다.

재료 및 방법

실험어와 사육조건

Min et al. (2003)의 방법에 따라 담수순화시킨 후 담수(0 psu)에서 114일 지난 감성돔(평균전장 : 14.2 ± 0.6 cm, 평균체중 : 51.1 ± 6.8 g, 이하 담수돔이라 함) 80마리와 해수(35 psu)에서 사육하던 감성돔(14.4 ± 0.8 cm, 48.8 ± 8.5 g, 이하 해수돔이라 함) 80마리를 사용하였다. 사육실험은 순환여과 사육시스템으로 구성된 8개의 FRP 원형수조(수용적 220 L)에 각각 20마리씩 2반복으로 수용하여 90일간 실시하였다. 사육기간중 사료는 돔육성용 사료(조단백 42%, 조지방 7%, 조섬유 4%, 조회분 17%, 칼슘 1.2%, 인 2.7%)를 매일 체중당 3%씩 공급하였으며, 사료 공급 후 남은 사료량을 측정하였다. 사육기간 동안 수온은 $19.5 \sim 23.5^\circ\text{C}$ 를 유지하였으며, 환수량은 매일 총 사육수의 0.7~1.3%씩으로 하였다. 사육기간중 혈액 및 조직샘플은 0, 30, 60 및 90일째에 각각 채취하였다.

혈액의 채취 및 분석

실험어로부터 혈액을 채취하기 이전에 공급한 먹이가 어체의 혈액성상에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 채혈 24시간 전부터 절식시켰다. 채혈은 heparin sodium을 처리한 주사기(1 ml)를 사용하였으며, 각 실험수조에서 6마리씩 채취하여 30초 이내에 채혈하였다. 채취한 혈액은 자동혈액분석기(H5M, SEAC Co., Italy)를 이용하여, Ht, red blood cell (RBC), hemoglobin (Hb)을 분석하였으며, 이후 남은 혈액을 상온에서 10분 이상 방치하였다가, 원심분리($5,600 \times g$, 5분)하여 얻은 혈장은 분석전까지 초저온 냉동고(-72°C)에 보관하였다. 혈장 cortisol 농도는 Donaldson (1981)의 방법에 의해 방사선면역측정법(RIA)에 의해 cortisol RIA kit (DSL, USA)로 항원과 표지항원이 항체에 경쟁적으로 반응하도록 유도한 다음, Hewlett Packard Gamma Counter (USA)로 분석하였다. 혈장 glucose, Na^+ , K^+ , Cl^- 농도,

AST 및 ALT는 Chemistry Autoanalyzer (Advid 1650, JEOL Co., Japan)를 사용하여 측정하였으며, 혈장의 삼투질농도는 micro-osmometer (3MO plus, Advanced Instruments Inc., USA)를 사용하여 측정하였다.

아가미와 피부의 조직학적 관찰

담수돔과 해수돔의 아가미와 피부를 조직학적 방법으로 비교하기 위해 사육종료시(90일째) 아가미와 등근육 조직을 절취하여 Bouin 용액에 고정된 다음, 상법에 따라 파라핀으로 포매된 조직을 $5 \mu\text{m}$ 두께로 연속절편하고, haematoxylin-eosin으로 대비염색하여 광학현미경 아래에서 관찰하였다.

체성분 조성 분석

담수돔과 해수돔의 체성분 조성을 분석하기 위하여 실험종료시인 90일째에 수조당 3마리씩을 무작위 포획하여 전어체를 분쇄한 후, 분석전까지 초저온 냉동고(-72°C)에 보관하였다. 이후 각 시료를 AOAC (1990) 방법에 따라 수분은 상압가열건조법, 조단백은 Kjeldahl 질소정량법, 조지방은 Soxhlex 추출법, 조회분은 직접회화법으로 분석하였다.

성장 및 생존율 조사

담수돔과 해수돔의 성장도는 30일 간격으로 조사하였으며, 전장은 1 mm 눈금의 계측판을, 체중은 전자저울(Navigator, Switzerland)을 이용하여 1/10 g까지 습중량으로 측정하였다. 또한 사육종료시 증중량, 증중률, 일간 성장률, 일간 사료섭취율 및 사료효율을 조사하였다.

실험기간중 각 실험구에서 매일 폐사개체를 파악하여 폐사율을 구하고, 이로부터 생존율을 역산하였다.

통계처리

각 실험결과로부터 얻어진 자료값 사이의 유의차 유무는 SPSS-통계패키지(version 9.0)에 의한 ANOVA와 Duncan's multiple range test 또는 *t*-test로 검정하였다($P < 0.05$).

결 과

스트레스 반응

혈장의 cortisol 및 glucose 농도

실험기간중 담수돔과 해수돔의 cortisol과 glucose 농도의 변화는 Fig. 1과 같다. 실험개시시부터 종료시(90일째)까지 담수돔의 cortisol 농도는 $6.9 \pm 2.8 \sim 12.6 \pm 5.0$ ng/ml였으며, 해수돔에서는 $4.5 \pm 2.9 \sim 5.4 \pm 2.3$ ng/ml로 사육기간중 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). 그러나, 실험종료시 담수돔과 해수돔의 cortisol 농도는 각각 12.6 ± 5.0 ng/ml, 4.5 ± 2.9 ng/ml로 담수돔이 해수돔보다 높았다($P < 0.05$).

담수돔의 glucose 농도는 실험개시시에 45.8 ± 3.3 mg/dl였던

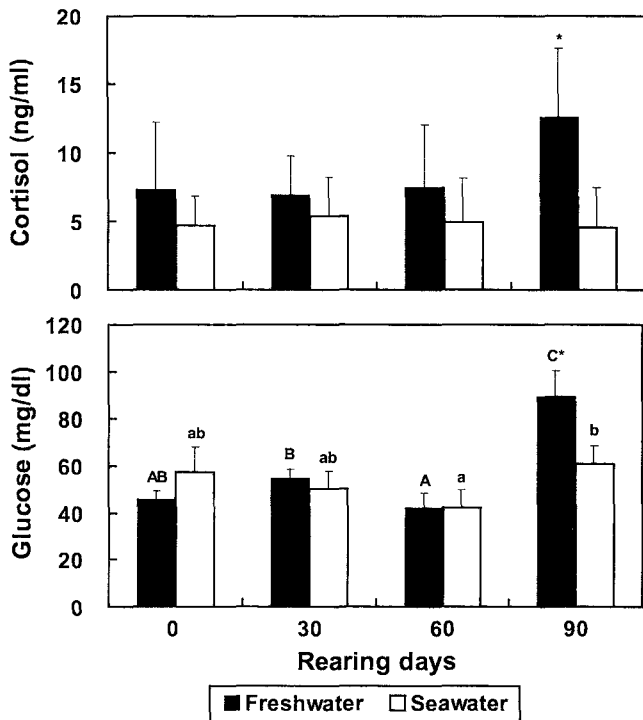


Fig. 1. Cortisol and glucose levels in plasma of black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* reared in freshwater and seawater (values are mean±SD). Same capital letters indicate no significant difference among freshwater and small letters among seawater ($P>0.05$). *Difference between freshwater and seawater ($P<0.05$).

것이 종료시에는 89.7 ± 10.8 mg/dl로 증가하였으나($P<0.05$), 해수돔에서는 실험개시시부터 종료시까지 $42.2 \pm 7.7 \sim 60.8 \pm 7.9$ mg/dl로 큰 변화가 없었다. 그러나, 실험종료시에는 담수돔과

해수돔에서 각각 89.7 ± 10.8 mg/dl, 60.8 ± 7.9 mg/dl로 담수돔이 해수돔보다 유의하게 높았다($P<0.05$).

혈장의 AST와 ALT

담수돔과 해수돔의 AST와 ALT 변화는 Table 1에 나타내었다. 담수돔의 AST 농도는 실험개시시에 17.7 ± 2.3 IU/L였던 것이 실험종료시에는 85.3 ± 7.2 IU/L로 증가하였으며($P<0.05$), 해수돔에서는 실험개시시에 21.7 ± 6.4 IU/L였던 것이 실험종료시에는 37.0 ± 8.9 IU/L로 증가하였다($P<0.05$). 또한 실험종료시에는 담수돔과 해수돔에서 각각 85.3 ± 7.2 IU/L, 37.0 ± 8.9 IU/L로 담수돔이 해수돔보다 유의하게 높았다($P<0.05$).

담수돔과 해수돔의 ALT 농도는 각각 $3.3 \pm 1.3 \sim 7.0 \pm 2.8$ IU/L, $2.7 \pm 1.2 \sim 6.7 \pm 2.9$ IU/L로 사육기간동안 유의한 차이가 없었다($P>0.05$).

혈액의 Ht, RBC 및 Hb

담수돔과 해수돔의 Ht, RBC 및 Hb의 변화는 Table 2에 나타내었다. 담수돔의 Ht는 실험개시시 $19.7 \pm 2.1\%$ 에서 실험종료시 $29.7 \pm 6.8\%$ 로 증가하였으며($P<0.05$), 해수돔에서는 실험개시시 $18.5 \pm 2.8\%$ 에서 실험종료시 $22.7 \pm 2.7\%$ 로 증가하였다($P<0.05$). 또한 사육 60일째에 담수돔과 해수돔에서 각각 $23.3 \pm 1.4\%$, $18.2 \pm 1.8\%$ 로 담수돔이 해수돔보다 유의하게 높았다($P<0.05$).

담수돔의 RBC는 실험개시시 $2.5 \pm 0.3 \times 10^6$ cell/ μ l에서 실험종료시 $3.9 \pm 0.8 \times 10^6$ cell/ μ l로 증가한 반면($P<0.05$), 해수돔에서는 실험개시시부터 종료시까지 $2.2 \pm 0.4 \sim 2.5 \pm 0.3 \times 10^6$ cell/ μ l로 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 그러나 실험종료시에 담수돔과 해수돔에서 각각 $3.9 \pm 0.8 \times 10^6$ cell/ μ l, $2.5 \pm 0.3 \times 10^6$ cell/ μ l로 담수돔이 해수돔보다 높았다($P<0.05$).

Table 1. Aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT) and osmolality levels in plasma of black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* reared in freshwater and seawater

Rearing days	AST (IU/L)		ALT (IU/L)		Osmolality (mOsm/kg)	
	Freshwater	Seawater	Freshwater	Seawater	Freshwater	Seawater
0	17.7 ± 2.3^A	21.7 ± 6.4^a	3.3 ± 1.3	6.0 ± 0.8^o	349.0 ± 2.0	350.0 ± 2.0
30	47.0 ± 9.6^B	13.3 ± 3.2^a	5.8 ± 2.5	2.7 ± 1.2	346.7 ± 4.6	353.0 ± 2.6
60	13.3 ± 2.1^A	16.7 ± 2.5^a	4.5 ± 2.1	5.3 ± 2.1	354.3 ± 6.1	357.0 ± 2.6
90	$85.3 \pm 7.2^{C^*}$	37.0 ± 8.9^b	7.0 ± 2.8	6.7 ± 2.9	356.5 ± 2.1	354.0 ± 5.3

Values are mean±SD. Same capital letters indicate no significant difference among freshwater and small letters among seawater ($P>0.05$). *Difference between freshwater and seawater ($P<0.05$).

Table 2. Hematocrit (Ht), red blood cell (RBC) and hemoglobin (Hb) levels in plasma of black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* reared in freshwater and seawater

Rearing days	Ht (%)		RBC ($\times 10^6$ cell/ μ l)		Hb (g/dl)	
	Freshwater	Seawater	Freshwater	Seawater	Freshwater	Seawater
0	19.7 ± 2.1^A	18.5 ± 2.8^a	2.5 ± 0.3^A	2.2 ± 0.4	16.0 ± 1.3^B	14.6 ± 1.8^a
30	20.9 ± 1.9^A	19.8 ± 4.7^{ab}	2.6 ± 0.1^A	2.2 ± 0.6	$13.6 \pm 1.4^{A^o}$	16.6 ± 1.5^{ab}
60	23.3 ± 1.4^A	18.2 ± 1.8^{ab}	2.4 ± 0.2^A	2.5 ± 0.2	18.6 ± 0.9^C	18.2 ± 1.5^b
90	29.7 ± 6.8^B	22.7 ± 2.7^b	$3.9 \pm 0.8^{B^o}$	2.5 ± 0.3	$18.6 \pm 0.9^{C^o}$	15.4 ± 2.6^a

Values are mean±SD. Same capital letters indicate no significant difference among freshwater and small letters among seawater ($P>0.05$). *Difference between freshwater and seawater ($P<0.05$).

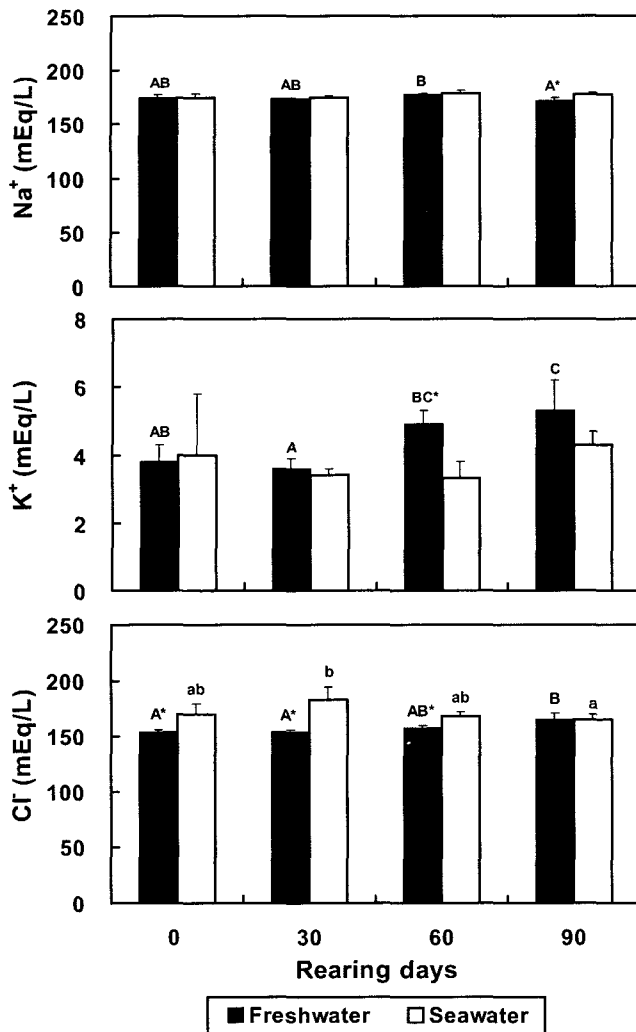


Fig. 2. Na⁺, K⁺ and Cl⁻ levels in plasma of black porgy, *Acanthopagrus schlegelii* reared in freshwater and seawater (values are mean±SD). Same capital letters indicate no significant difference among freshwater and small letters among seawater ($P>0.05$). *Difference between freshwater and seawater ($P<0.05$).

담수돔의 Hb는 실험개시시에 16.0±1.3 g/dl에서 실험종료시 18.6±0.9 g/dl로 증가하였으며($P<0.05$), 해수돔에서는 실험개시시부터 종료시까지 14.6±1.8~18.2±1.5 g/dl로 큰 변화가 없었다. 그러나 실험종료시에는 각각 18.6±0.9 g/dl, 15.4±2.6 g/dl로 담수돔이 해수돔보다 높았다($P<0.05$).

삼투압조절 능력

혈장의 Na⁺, K⁺, Cl⁻ 및 삼투질농도

담수돔과 해수돔의 혈장 Na⁺, K⁺ 및 Cl⁻의 변화는 Fig. 2에 나타내었다. 담수돔과 해수돔의 혈장 Na⁺ 농도는 각각 171.5±3.0~177.4±1.1 mEq/L, 174.5±1.3~178.5±2.1 mEq/L로 사육기간동안 큰 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 그러나 실험종료시에 담수돔과 해수돔에서 각각 171.5±3.0 mEq/L, 176.8±2.1 mEq/L로 담수돔이 해수돔보다 유의하게 낮았다($P<0.05$).

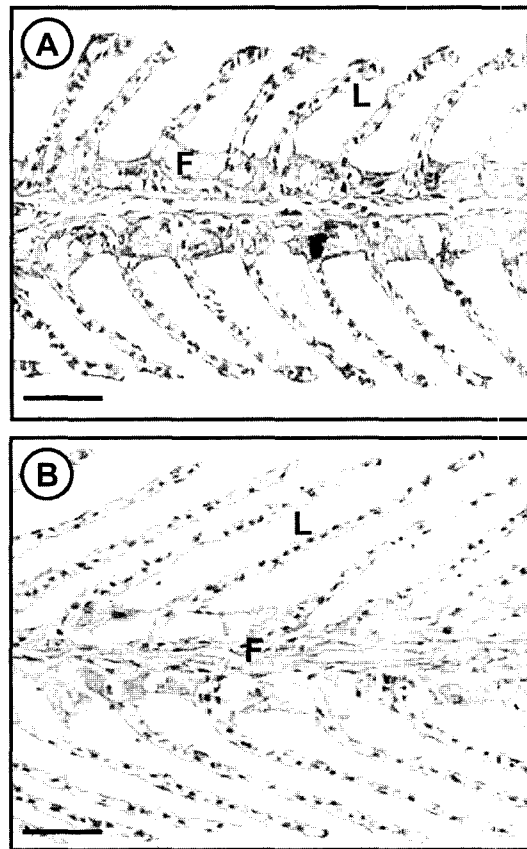


Fig. 3. Photomicrographs of gill filaments (F) and lamellae (L) of black porgy, *Acanthopagrus schlegelii* reared in freshwater and seawater (90 days). A: freshwater, B: seawater. Bar=50 μm.

담수돔의 혈장 K⁺ 농도는 실험개시시에 3.8±0.5 mEq/L였던 것이 실험종료시에는 5.3±0.9 mEq/L로 증가하였으나($P<0.05$), 해수돔에서는 3.3±0.5~4.3±0.4 mEq/L로 사육기간동안 변화가 없었다. 그러나 사육 60일째에 담수돔과 해수돔에서 각각 4.9±0.4 mEq/L, 3.3±0.5 mEq/L로 담수돔이 해수돔보다 높았다($P<0.05$).

담수돔의 혈장 Cl⁻ 농도는 60일째까지 해수돔보다 높았으나, 실험종료시에는 담수돔과 해수돔에서 각각 165.2±5.8 mEq/L, 164.8±5.0 mEq/L로 차이가 없었다($P>0.05$).

사육기간동안 담수돔과 해수돔의 혈장 삼투질농도는 각각 346.7±4.6~356.5±2.1 mOsm/kg, 350.0±2.0~357.0±2.6 mOsm/kg으로 변화가 없었으며, 담수돔과 해수돔간의 유의한 차이도 인정되지 않았다($P>0.05$) (Table 1).

아가미와 피부의 조직학적 관찰

담수돔 및 해수돔의 2차세변 조직은 괴사나 손상이 관찰되지 않았다(Fig. 3, A and B).

피부의 조직학적 구조를 Fig. 4에 나타내었다. 이를 기준으로 각 부위별 두께를 측정된 결과, 담수돔과 해수돔의 표피 두께는 각각 17.8±1.3 μm, 25.1±8.9 μm, 진피는 86.1±9.3, 105.7

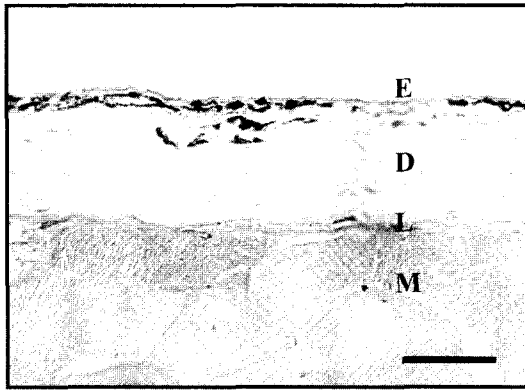


Fig. 4. Cross section of skin of black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* showing the epidermis (E), dermis (D), lipid (L) and muscle (M) layer. Bar=50 μ m.

$\pm 47.3 \mu\text{m}$ 로 해수돔이 두꺼웠으며, 지방층의 두께는 각각 $24.5 \pm 16.3 \mu\text{m}$, $17.4 \pm 7.6 \mu\text{m}$ 로 담수돔이 더 두꺼운 것으로 나타났으나 유의한 차이는 없었다.

성장 및 생존율

담수돔과 해수돔의 전장은 실험개시시에 각각 $14.2 \pm 0.6 \text{ cm}$, $14.4 \pm 0.8 \text{ cm}$ 에서 실험종료시에 각각 $17.0 \pm 1.3 \text{ cm}$, $16.1 \pm 0.8 \text{ cm}$ 로 성장하였으며, 체중은 실험개시시에 각각 $51.0 \pm 6.8 \text{ g}$, $48.8 \pm 8.5 \text{ g}$ 에서 실험종료시에 각각 $88.2 \pm 22.0 \text{ g}$, $69.4 \pm 11.8 \text{ g}$ 으로 자라남으로써, 전장 및 체중성장 모두 담수돔이 해수돔보다 빠른 경향을 보였다(Fig. 5). 또한 담수돔과 해수돔 사이의 증중량, 증중률, 일간 성장률, 일간 사료섭취율 및 사료효율은 유의한 차이는 없었으나, 담수돔이 다소 높은 것으로 나타났다(Table 3).

실험종료시 담수돔과 해수돔의 생존율은 각각 80.2%, 73.7%로 담수돔이 해수돔보다 높았지만, 유의한 차이는 없었다($P > 0.05$) (Fig. 5).

체성분 조성

담수돔과 해수돔의 체성분 조성에 있어 수분함량은 각각 $67.4 \pm 0.2\%$, $69.8 \pm 0.2\%$, 조단백은 $17.8 \pm 0.1\%$, $18.1 \pm 0.2\%$, 조지방은 $10.0 \pm 0.6\%$, $7.8 \pm 1.5\%$, 조회분은 $5.8 \pm 0.2\%$, $6.5 \pm 0.5\%$ 로 나타났으나 유의한 차이는 인정되지 않았다($P > 0.05$) (Table 4).

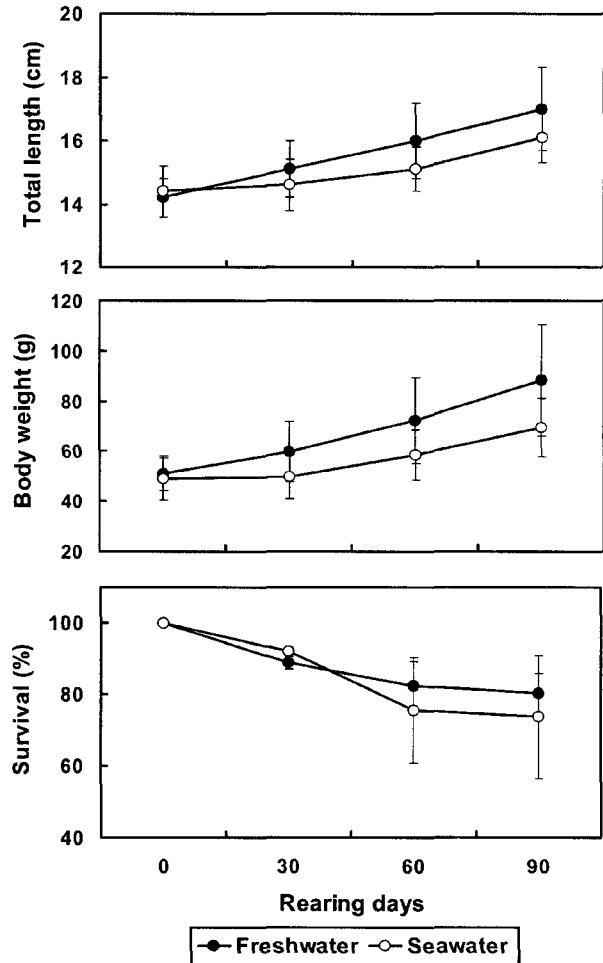


Fig. 5. Total length, body weight and survival rate of black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* reared in freshwater and seawater (values are mean \pm SD). There was no difference between black porgy reared in freshwater and seawater ($P > 0.05$).

고 찰

성공적인 감성돔 담수양식을 위해서는 담수순화시 염분변화의 방법뿐만 아니라 장기간 담수사육을 통한 어체의 생리상태가 파악되어야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 감성돔의 담수순화 과정 이후 담수사육시 스트레스 반응, 삼투압조절 능력, 성

Table 3. Growth performance of black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* reared in freshwater and seawater (FI, FE: dry matter)

	WG (g) ¹	WGR (%) ²	SGRW (%) ³	FI (%) ⁴	FE (%) ⁵
Freshwater	1108.45 \pm 485.71	52.87 \pm 13.80	0.46 \pm 0.10	1.18 \pm 0.04	39.25 \pm 9.47
Seawater	514.42 \pm 181.28	28.96 \pm 11.61	0.28 \pm 0.10	0.97 \pm 0.23	28.36 \pm 3.52

Values are mean \pm SD. There was no difference between black porgy reared in freshwater and seawater ($P > 0.05$). FI: daily feed intake, FE: feed efficiency, WG: weight gain, WGR: weight gain rate, SGRW: specific growth rate.

¹WG: (W₂+W₃)-W₁

²WGR: {(W₂+W₃)-W₁/W₁} \times 100

³SGRW: [WG/{(W₁+W₂+W₃/2) \times D}] \times 100

⁴FI: [F/{(W₁+W₂+W₃/2) \times D}] \times 100

⁵FE: (SGRW/FI) \times 100

D: rearing day, F: dry feed intake, W₁: initial total weight, W₂: final total weight, W₃: death total weight

Table 4. Body composition of black porgy, *Acanthopagrus schlegelii* reared in freshwater and seawater

	Moisture (%)	Protein (%)	Lipid (%)	Ash (%)
Freshwater	67.4±0.2	17.8±0.1	10.0±0.6	5.8±0.2
Seawater	69.8±0.2	18.1±0.2	7.8±1.5	6.5±0.5

Values are mean±SD.

장 및 생존율을 해수사육한 감성돔과 비교·조사하여 감성돔의 담수양식을 위한 기초자료를 얻고자 하였다.

감성돔의 담수순화 과정 및 담수사육에 따른 사육수의 염분 변화는 어체의 스트레스 요인으로 작용하게 된다(Chang et al., 2002; Min et al., 2003). 어체가 스트레스 요인에 노출되게 되면, 일반적으로 3가지의 스트레스 반응이 나타나는데, 1차 반응으로 시상하부-교감신경-크롬친화성세포축과 시상하부-뇌하수체-간신선축의 활성이 높아지며, 이들 축은 각각 카테콜아민과 cortisol을 혈중으로 분비하게 하여(Schreck et al., 1989; Perry and Reid, 1993; Chang and Hur, 1999), 2차적으로 혈액과 조직에서 카테콜아민과 cortisol의 작용으로 인해 심장박동, 산소 소비, 에너지 동원의 증가, 물-이온의 평형이 깨지게 된다(Tomasso et al., 1980; Eddy, 1981; Carmichael et al., 1984; McDonald and Milligan, 1997). 이러한 결과는 3차적으로 성장, 번식의 억제 및 면역력 감소 등을 초래하는 것이다(Wedemeyer and Yasutake, 1977). 본 연구에서는 90일간 감성돔을 담수 및 해수에서 사육하였을 때 스트레스의 1차 반응으로 담수돔과 해수돔의 혈중 cortisol 농도를 조사한 결과, 실험종료시인 90일째에 12.6 ng/ml, 4.5 ng/ml로 담수돔이 해수돔에 비해 약 3배 높은 것으로 나타났다. 또한 혈중 glucose뿐만 아니라 AST, Ht, RBC, Hb (스트레스의 2차 반응 지표)도 담수돔이 해수돔보다 유의하게 높은 것으로 볼 때, 담수돔이 해수돔보다 스트레스를 많이 받고 있음을 알 수 있다. 그러나, 일반적으로 경골어류의 안정 시 cortisol 농도의 값은 연어과 어류 30~40 ng/ml (Pickering and Pottinger, 1989), 나일틸라피아 5~50 ng/ml (Auperin et al., 1997)이며, 본 연구의 실험어와 같은 감성돔의 경우 34.2 ng/ml (Chang et al., 2002), 13.0 ng/ml (Min et al., 2003)로 나타나, 본 연구에서 담수돔의 혈중 cortisol 농도 범위는 안정 시 값에 해당된다고 볼 수 있다. 따라서 이러한 결과는 감성돔 사육시 담수환경은 해수환경에 비해 스트레스 요인으로 작용하겠지만, 성장과 생존율에서 담수돔이 다소 높았던 점, 병적 증상이나 나타나지 않았던 점을 고려해 볼 때, 감성돔의 담수사육은 어체의 생리상태에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 오히려 이것은 Selye (1974)가 제시한 스트레스 형태중 “eustress” (매일 반복되는 자극성이 적으며, 활력을 증가시키는 스트레스)로서 어체에 긍정적으로 자극할 가능성도 있다고 사료된다.

일반적으로 어류는 환경수의 삼투질농도가 체내보다 높으면 삼투압조절에 의하여 이온은 유입되며 물은 빠져나가게 되므로, 해산어류는 체내의 일정한 삼투질농도를 유지하기 위하여 이온은 방출하고 물은 흡수하는 저삼투압조절 능력을 가진다. 담수

어류는 이와는 반대로 환경수의 삼투질농도가 체내보다 낮기 때문에 이온은 빠져나가고 물은 유입되므로 체내의 항상성을 유지하기 위하여 이온은 체내로 흡수하고 물을 체외로 방출하는 고삼투압조절 능력을 갖고 있다. 본 연구에서는 감성돔을 해수에서 담수로 전환하여 장기간 사육할 경우 어체는 체액보다 고장액에서 저장액으로 노출되게 되므로 어체는 저삼투압조절에서 고삼투압조절로 전환하게 되며, 이러한 고삼투압조절이 정상적으로 이루어질 때 감성돔의 담수양식이 가능하게 된다. 본 연구에서는 혈장의 이온 농도, 삼투질농도 및 삼투압조절 기관(아가미, 피부)의 조직학적 형태를 조사함으로써 고삼투압조절 능력을 파악하였다. 사육 90일째 혈장 Na⁺ 농도는 담수돔이 해수돔보다 낮았으나, K⁺, Cl⁻은 차이가 없었으며, 또한 삼투질농도의 경우 346.7~356.5 mOsm/kg, 350.0~357.0 mOsm/kg으로 차이가 나타나지 않았다. Han et al. (2003)은 농어(*Lateolabrax japonicus*)를 대상으로 2 psu와 30 psu 염분에서 6개월간 사육하였을 때 삼투질농도가 각각 334 mOsm/kg, 331 mOsm/kg으로 거의 차이가 없다고 보고하였다. 또한 송어를 담수에서 사육하였을 때 Na⁺ 및 삼투질농도가 해수에서 사육하였을 때와 차이가 나지 않는 것으로 나타나(Hur and Chang, 1999), 감성돔은 농어, 송어와 함께 우수한 삼투압조절 능력을 가지고 있음을 보여준다. 한편, 경골어류의 중요한 삼투압조절 기관으로는 아가미, 소화관 및 신장을 들 수 있는데, 이중 아가미는 호흡 및 질소 노폐물 배설의 중추적인 역할을 수행하는 기관으로, 다른 기관에 비해 그 표면적이 넓기 때문에 환경변화에 가장 민감하게 반응하는 부위이다(Lee et al., 1997). 환경의 급격한 변화에 따라 아가미는 1차적으로 2차새변(lamella) 호흡상피의 박리와 공포화가 유발되며, 이로 인한 2차 반응으로 호흡상피 세포의 과다한 증생, 세포간의 유착 및 괴사가 일어나 아가미에 의한 호흡효율의 감소를 초래하고, 심할 경우 폐사에 이르게 된다. Lee (1996)는 송어에서 염분이 낮아질수록 2차새변의 괴사 및 공포화 현상이 현저하게 나타난다고 보고한 바 있다. 또한 감성돔의 경우 해수에서 담수로의 급격한 염분 변화를 주었을 때 2차새변의 손상이 단계적인 염분변화보다 심하였으며 그 회복속도도 늦다고 보고되고 있다(Min, 2003). 이러한 결과들은 해수로부터 담수순화시 염분농도와 순화속도는 2차새변의 손상 정도에 크게 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 그러나, 본 연구에서는 담수 및 해수에서 사육한 감성돔 아가미의 조직상을 비교한 결과, 조직의 괴사나 구조적 차이는 없는 것으로 보아, 아가미를 통한 삼투압조절이 정상적으로 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 또한 어류의 피부는 개체와 수서환경 사이에 물과 이온교환을 위한 1차적인 장벽을 이루어, 외부 환경으로부터 개체를 보호하여 개체내부의 환경을 일정하게 유지하는 기능을 한다. 따라서, 어류는 서식장소의 염분에 따라 삼투압조절 기능뿐만 아니라 표피세포를 다르게 발현시킴으로써 체내 항상성을 유지한다고 보고된 바 있다(Leonard and Summr, 1976). Lee (1996)는 송어를 재료로 연구한 결과, 염분이 감소할수록 피부

의 지방층이 두꺼워 진다고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 담수사육을 통해 피부의 두께를 측정한 결과, 유의한 차이는 나타나지 않았지만 담수돔이 해수돔보다 약간 두꺼운 지방층을 가진 것으로 나타났다. 이것은 체내의 삼투질농도가 외부의 환경수보다 높기 때문에 외부로부터의 물의 확산을 차단하기 위한 것이라고 생각된다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 감성돔의 담수 및 해수사육시 스트레스 반응으로 혈장 cortisol 농도는 담수가 해수보다 다소 높기는 하였지만 안정시 범위에 속하였으며, 성장 및 생존율 역시 차이가 없는 것으로 나타났다. 삼투질농도 또한 실험종료시까지 담수 및 해수에서 차이가 없는 것으로 나타나, 감성돔은 삼투압조절 능력이 뛰어난 광염성 경골어류로서 담수양식의 가능성이 높은 어종으로 판단된다. 앞으로의 연구에서는 담수 및 해수사육시 동일한 스트레스 요인(수온, 핸들링 등)에 대한 생리적 반응을 여러 측면에서 파악해 보아야 할 것이다.

요 약

해산어류의 담수순화 양식을 위한 기초자료를 얻고자, 감성돔을 재료로 하여 담수와 해수에서 90일간 사육하였을 때, 어체의 생리상태를 스트레스, 삼투압조절, 성장 및 생존율 측면에서 조사 비교하였다.

스트레스 측면에서 담수돔과 해수돔의 혈장 cortisol 농도의 경우 60일째까지 유의한 차이가 없었으며, 실험종료시에는 각각 12.6 ± 5.0 ng/ml, 4.5 ± 2.9 ng/ml로 담수돔이 해수돔보다 높았지만 안정시의 농도에 포함되는 것으로 나타났다.

삼투압조절 측면에서 담수돔과 해수돔의 삼투질농도의 범위는 각각 $346.7 \pm 4.6 \sim 356.5 \pm 2.1$ mOsm/kg, $350.0 \pm 2.0 \sim 357.0 \pm 2.6$ mOsm/kg으로 차이가 나타나지 않았으며, 또한 아가미 조직의 손상이나 세포의 괴사도 관찰되지 않았다.

성장 및 생존율 측면에서 실험종료시 담수돔과 해수돔의 전장은 각각 17.0 ± 1.3 cm, 16.1 ± 0.8 , 체중은 각각 88.2 ± 22.0 g, 69.4 ± 11.8 g, 생존율은 각각 80.2%, 73.7%로 담수돔에서 높게 나타났으나 유의한 차이는 인정되지 않았다. 또한 증중률 등의 성장관련 요인과 체성분의 조성면에서도 담수돔과 해수돔간의 차이가 없는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: R01-2004-000-10251-0)지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

André, S. and B. Adalto, 2002. Salinity effects on osmoregulation and growth of the euryhaline flounder, *Paralichthys orbign-*

- yanus*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 269, 187-196.
- AOAC, 1990. Official methods of analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington. Virginia. 1298 pp.
- Auperin, B., J. F. Baroiller, M. J. Ricordel, A. Fostier and P. Prunet, 1997. Effect of confinement stress on circulation levels of growth hormone and two prolactins in freshwater-adapted tilapia, *Oreochromis niloticus* (L). Gen. Comp. Endocrinol., 108, 35-44.
- Carmichael, G. J., J. R. Tomasso, B. A. Simco and K. B. Davis, 1984. Characterization and alleviation of stress associated with hauling largemouth bass. Trans. Am. Fish. Soc., 113, 778-785.
- Chang, Y. J., B. H. Min, H. J. Chang and J. W. Hur, 2002. Comparison of blood physiology in black seabream (*Acanthopagrus schlegeli*) cultured in converted freshwater from seawater and seawater from freshwater. J. Kor. Fish. Soc., 35, 595-600.
- 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. Kor. Fish. Soc., 32, 310-316.
- Donaldson, E. M., 1981. The pituitary-interrenal axis as an indicator of stress in fish. Academic Press, London, 11 pp.
- Eddy, F. B., 1981. Effects of stress on osmotic and ionic regulation in fish. (in) A.D. Pickering (ed.), Stress and Fish. Academic Press, London, pp. 77-102.
- Han, H. K., D. Y. Kang, C. Y. Jun and Y. J. Chang, 2003. Effects of salinity changes on physiological response and growth of yearling sea bass, *Lateolabrax japonicus*. J. Aquacult., 16, 31-36.
- 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.
- Kimura, R. and M. Tanaka, 1991. Prolactin production during larval and early juvenile periods of euryhaline marine fish, black sea bream *Acanthopagrus schlegeli*. Nippon Suisan Gakkaishi, 57, 1833-1837.
- Lee, Y. C., 1996. Osmoregulation and growth of juvenile grey mullet, *Mugil cephalus* in different salinities. Master thesis, National Fisheries University of Pusan, Busan, Korea, 45 pp.
- Lee, Y. C., Y. J. Chang and B. K. Lee, 1997. Osmoregulation capability of juvenile grey mullet (*Mugil cephalus*) with the different salinities. J. Kor. Fish. Soc., 30, 216-224.
- Leonard, J. B. and R. G. Summer, 1976. The ultrastructure of the integument of the American eel, *Anguilla rostrata*. Cell Tissue Res., 1971, 1-30.
- McDonald, G. and L. Milligan, 1997. Ionic, osmotic and acidbase regulation in stress. In: Iwama, G.W., Pickering, A.D., Sumpter, J.P., Schreck, C.B. (Eds.), Fish stress and Health in Aquaculture. University Press, Cambridge, pp. 119-144.
- Min, B. H., 2003. Physiological responses of black seabream, *Acanthopagrus schlegeli* to freshwater acclimation. Master thesis, Pukyong National University, Busan, Korea, 55 pp.
- Min, B. H., B. K. Kim, J. W. Hur, I. C. Bang, S. K. Byun, C. Y. Choi and Y. J. Chang, 2003. Physiological responses during freshwater acclimation of seawater-cultured black porgy (*Acanthopagrus schlegeli*). Kor. J. Ichthyol., 15, 224-231.

- Perry, S. F. and S. D. Reid, 1993. β -adrenergic signal transduction in fish : interactive effects of catecholamines and cortisol. *Fish. Physiol. Biochem.*, 11, 195–203.
- Pickering, A. D. and T. G. Pottinger. 1989. Stress responses and disease resistance in salmonid fish: Effect of chronic elevation of plasma cortisol. *Fish Physiol., Biochem.*, 7, 253–258.
- Pickering, A. D., T. G. Pottinger, J. Carragher and J. P. Sumpter, 1987. The effects of acute and chronic stress on the levels of reproductive hormones in plasma of mature male brown trout, *Salmo trutta* L. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 68, 249–259.
- Schreck, C. B., C. S. Bradford, M. S. Fitzpatrick and R. Patino, 1989. Regulation of the interrenal of fishes: Non-classical control mechanism. *Fish Physiol. Biochem.*, 7, 259–265.
- Selye, H., 1974. *Stress without distress*. Philadelphia, PA: Lippincott.
- Tomasso, J. R., K. B. Davis and N. C. Parker, 1980. Plasma corticosteroid and electrolyte dynamics of hybrid striped bass (white bass \times striped bass) during netting and hauling stress. *Proc. World Maricult. Soc.*, 11, 303–310.
- 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 Paper No. 89, USFWS, Washington D.C., 18 pp.

원고접수 : 2004년 12월 28일

수정본 수리 : 2005년 1월 28일