

해수사육에서 담수사육으로, 담수사육에서 해수사육으로 전환된 감성돔 치어, *Acanthopagrus schlegeli*의 혈액생리학적 비교

장영진* · 민병화 · 장해진 · 허준욱
부경대학교 수산과학대학 양식학과

Comparison of Blood Physiology in Juvenile Black Seabream (*Acanthopagrus schlegeli*) Reared in Converted Freshwater from Seawater and Seawater from Freshwater

Young Jin CHANG⁺, Byung Hwa MIN, Hae Jin CHANG and Jun Wook HUR
Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Comparison of blood properties in juvenile black seabream (*Acanthopagrus schlegeli*) between transfer from seawater to freshwater (sFW) and transfer from freshwater to seawater (fSW) were investigated for 60 days. Plasma cortisol levels in sFW were significantly increased from 34.2 ± 28.6 ng/mL at the beginning to 365.6 ± 136.0 ng/mL at 3 hours, and decreased to the beginning level at 24 hours. However, in fSW, no significant differences in the cortisol levels were recognized throughout experimental period. No significant difference was found in the glucose levels between sFW and fSW. The transfer from seawater to freshwater of juvenile black seabream resulted in reduced Na^+ and Cl^- concentrations for 24 hours (decreasing from 165.3 ± 2.5 , 146.0 ± 2.2 to 118.3 ± 12.3 , 78.0 ± 7.0 mEq/L, respectively), but these were completely recovered the beginning levels at 30 days. Total protein and AST showed no significant differences between the two rearing conditions, while ALT was markedly elevated at 3 hours in sFW and at 24 hours in fSW. Ht in sFW was increased from $18.5 \pm 0.6\%$ at the beginning to $25.3 \pm 4.0\%$ at 12 hours, and was decreased to the beginning level at 24 hours. Ht, RBC and Hb in fSW were also significantly higher at 12 hours, but recovered to their initial levels at 24 hours. All fish were dead until 50 days in sFW while survival rate in fSW was 85% at the end of experiment.

Key words: Black seabream, *Acanthopagrus schlegeli*, Freshwater acclimation, Salinity change, Blood physiology, Stress, Survival

서 론

해수환경에서 염분의 변화는 해산어류의 삼투압 조절에 영향을 미침으로써, 이온과 수분 평형에 혼란을 일으키며 어체의 생리조건 악화 및 성장지연을 초래하는 것으로 알려져 있다 (Singly and Chavin, 1971). 어류는 환경수의 염분변화에 대처하기 위해 삼투압 조절로 체내의 항상성을 유지하려고 한다 (Morgan and Iwama, 1991). 어류의 삼투압 조절과 관련하여 킬라피아 (Fontainhas-Fernandes, et al., 2001)와 연어과 어류 (Lasserre et al., 1978)에서 염분변화에 따른 아가미 염류세포의 구조적 변화, Na^+ , K^+ -ATPase 활성과 삼투질 농도의 변화 및 삼투압 조절능력을 향상시키기 위한 내분비학적 연구 등이 보고된 바 있다.

한국의 내수면 어류양식은 킬라피아, 잉어류가 주류를 이루고 있으나 과잉생산으로 인해 경제성이 낮으며, 최근 수입개방과 환경오염으로 담수양식 산업이 어려움에 처해 있는 실정이다. 따라서 새로운 고가의 양식어종 개발은 내수면 어류양식에 있어 시급히 해결해야 할 중요한 과제이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 최근에 송어, 농어 등 일부 광염성 해산어류의 뛰어난 삼투압 조절능력을 응용한 담수순화 양식이 시도되고 있으며, 그 기초연구로서 급격한 염분변화에 따른 혈액성상, cortisol, 글루코스, 삼투질

및 이온농도 등이 보고된 바 있다 (Chang and Hur, 1999). 이와 같이 해수산으로서 하천을 때때로 역류하는 어류의 담수순화 연구는 진행되었지만, 연안 해역에만 서식하는 돌류와 같은 해산어류에 있어서 저염분에 대한 적응 및 담수순화를 시도한 연구는 아직 세계적으로 이루어진 바 없다.

감성돔 (*Acanthopagrus schlegeli*)은 한국에서 유용한 양식대상 어류로 알려져 있으며, 최근 담수순화 양식을 위한 연구가 이제 막 시작된 상태이다. 그러나 염분변화에 따른 생리상태, 담수순화의 방법, 사육환경 등 아직까지 담수양식 기법이 확립되어 있지 않다. 그러므로, 본 연구에서는 감성돔 치어를 사용하여 담수순화의 방법중 하나로 급격한 염분변화에 따른 생리적 반응을 조사하여 담수순화 양식을 위한 기초자료를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험어와 실험조건

실험에 사용된 감성돔 치어는 각각 해수와 담수에서 사육하던 것으로서, 총 240마리, 평균전장 13.5 ± 2.12 cm, 평균체중 37.6 ± 11.9 g 이었다. 실험어를 순환여과 사육시스템으로 구성된 8개의 FRP 원형수조 (수용적 220 L)에 30마리씩 수용하여 사육하면서 4개의 수조에서 혈액을 채취하였으며, 나머지 4개 수조에서는 생존율을 조사하였다.

*Corresponding author: yjchang@pknu.ac.kr

사육수의 염분조건에 따라 해수 (seawater, S)에서 담수 (freshwater, F)로 옮겨 수용한 실험구를 sFW구로, 담수사육하던 어류를 해수로 옮겨 수용한 실험구를 fSW구로 설정하였다. 즉, sFW구에서는 35‰의 해수에서 사육하던 어류를 포획하여, 즉시 0‰의 담수에 수용하여 사육하였으며, fSW구에서는 해수에 담수를 주입하여 염분을 단계적으로 낮추어 24시간만에 담수로 전환한 다음, 60일간 사육하여 완전히 담수에 적응된 어류를 사용하였고, 실험개시시 이들을 즉시 35‰의 해수에 수용하여 사육하였다. 두 실험구에서 사육기간은 60일로 하였으며, 실험기간중 사판용 동육성용 EP사료를 매일 체중당 3%씩 공급하였다. 환수는 매일 전체 수용적의 1.5~2.5%씩 하였으며, 수온은 18.5~22.5°C, 용존산소량은 5.2~6.4 ppm이었다.

2. 혈액의 채취 및 분석

실험어로부터 혈액을 채취하기 이전에 공급한 먹이가 어체의 혈액성상에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 채혈 24시간 전부터 절식하였다. 채혈은 heparin sodium 처리 주사기 (1 mL)를 사용하였으며, 각 실험수조에서 6마리씩 채취하여 마취없이 미부혈관에서 30초 이내에 채혈하였다. 혈액은 실험개시 후 0, 3, 12, 24시간, 30일 및 60일째에 채취하였다.

채취한 혈액의 일부를 상온에서 10분 이상 방치한 다음, 원심분리 (5,600×g, 5분)하여 얻은 혈장은 -72°C에 보관하면서 분석시 사용하였다. 혈장의 cortisol 농도는 Donaldson (1981)의 방사면역측정법 (RIA)에 따라 cortisol RIA kit (DSL, USA)로 항원과 표지항원이 항체에 경쟁적으로 반응하도록 유도한 다음, Wizard 1470 Gamma Counter (COBRA II 5010, Packard Co., USA)로 측정하였다. 혈장 글루코스, Na⁺, K⁺, Cl⁻ 농도, 총단백질량, AST (aspartate aminotransferase) 및 ALT (alanine aminotransferase)는 건식혈액분석기 (ADVID 1650, Japan)를 사용하였다. 나머지 혈액에 대하여는 채혈 직후에 자동혈액분석기 (H5M, SEAC Co., Italy)를 사용하여, 적혈구용적 (hematocrit, Ht), 적혈구수 (red blood cell, RBC), 혈색소농도 (hemoglobin, Hb)를 분석하였으며, 그 결과를 이용하여 평균적혈구용적 (mean corpuscular volume, MCV), 평균적혈구혈색소량 (mean corpuscular hemoglobin, MCH) 및 평균적혈구혈색소농도 (mean corpuscular hemoglobin concentration, MCHC)를 계산하였다.

3. 생존율 조사

실험기간중 두 실험구 (2개수조×2구)에서 매일 폐사개체를 파악하여 폐사율을 구하고 이로부터 생존율을 역산하였다.

4. 통계처리

실험결과로부터 얻어진 자료값 사이의 유의차 유무는 SPSS-통계 패키지에 의한 ANOVA 및 Duncan's multiple range test로 검정하였다 (P<0.05).

결 과

1. 혈장의 cortisol과 글루코스 농도

두 실험구에서 감성돔 치어의 혈장 cortisol 농도 변화는 Fig. 1과 같다. sFW구에서의 cortisol 농도는 실험개시시의 34.2±28.6 ng/mL로부터 3시간째 365.6±136.0 ng/mL로 급격하게 증가하였다 (P<0.05), 24시간째에 실험개시시의 수준으로 회복되었다. fSW구에서는 실험개시시의 34.1±18.6 ng/mL로부터 24시간째에 86.5±24.6 ng/mL로 높아진 다음, 30일째에는 44.0±5.8 ng/mL로 낮아졌으나, 실험기간동안 cortisol 농도는 유의한 변화를 보이지 않았다 (P>0.05). 또한, 두 실험구에서 cortisol의 최고농도를 실험개시시와 비교해 볼 때, sFW구에서는 10배 정도 증가한 반면, fSW구에서는 2.5배 정도 증가하는 것으로 보아 급격한 염분변화시 해수에서 담수로 옮길 때 더욱 많은 스트레스를 받는 것으로 나타났다.

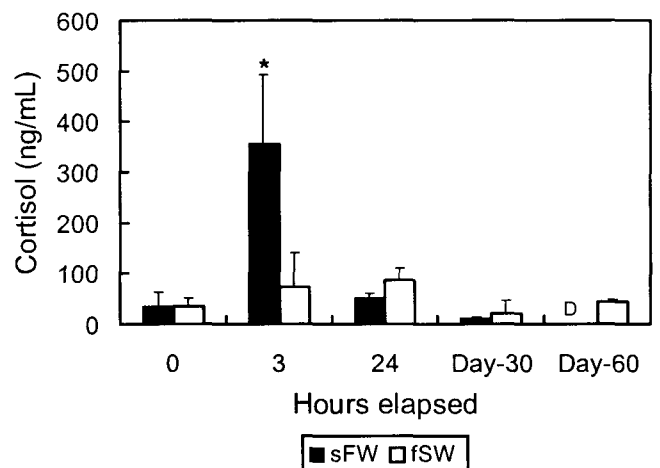


Fig. 1. Variations of cortisol levels in plasma of juvenile black seabream in the abrupt salinity changes. Asterisk in the same colored bars is significantly different (P<0.05). sFW: transfer from seawater to freshwater, fSW: transfer from freshwater to seawater, D: dead.

두 실험구에서 혈장 글루코스 농도 변화는 Fig. 2와 같았으며, sFW구에서는 실험기간중 48.3±9.1~59.3±15.5 mg/dL의 범위로 유의한 차이를 보이지 않았다 (P>0.05). 한편, fSW구에서는 3시간째 96.1±24.8 mg/dL로 실험개시시의 69.0±4.9 mg/dL 보다 높았지만 유의한 차이는 보이지 않았다 (P>0.05).

2. 혈장의 Na⁺, K⁺ 및 Cl⁻ 농도

두 실험구에서 혈장 Na⁺, K⁺ 및 Cl⁻ 농도변화는 Fig. 3과 같다. sFW구에서 Na⁺ 농도는 3시간째와 24시간째에 각각 118.3±12.0 mEq/L, 121.0±10.9 mEq/L로 실험개시시의 165.3±2.5 mEq/L 보다 유의하게 낮았지만 (P<0.05), 30일째에는 175.0±2.6 mEq/L로 실험개시시 수준으로 회복되었다. fSW구에서는 3시간째와 24시간째에 각각 187.8±10.1 mEq/L, 181.5±19.3 mEq/L로 실험개시시의

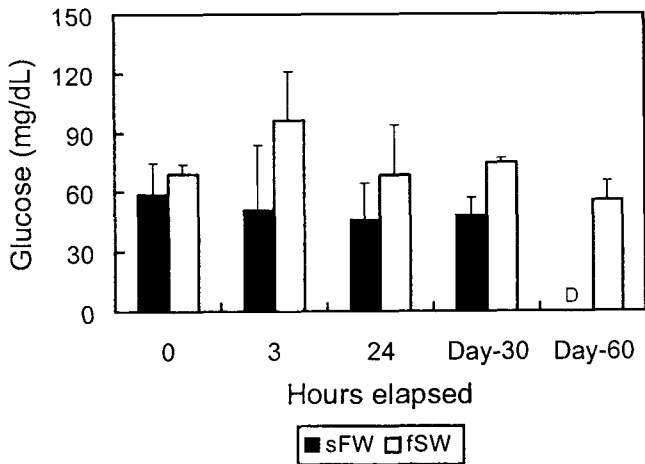


Fig. 2. Variations of glucose levels in plasma of juvenile black seabream in the abrupt salinity changes. sFW: transfer from seawater to freshwater, fSW: transfer from freshwater to seawater, D: dead.

163.0 ± 9.9 mEq/L에 비해 높아졌다가, 이후에는 낮아졌으나, 이들에게서 유의한 차이는 보이지 않았다 ($P > 0.05$). sFW구에서 K^+ 농도는 3시간째에 2.7 ± 0.3 mEq/L로 실험개시시의 4.0 ± 0.2 mEq/L보다 낮아졌으나 24시간째에는 5.1 ± 1.0 mEq/L로 유의하게 높아졌으며 ($P < 0.05$), 30일째에는 4.1 ± 0.4 mEq/L로 실험개시시의 수준으로 회복되었다. fSW구에서는 실험기간동안 유의한 차이없이 $3.3 \pm 0.1 \sim 4.0 \pm 0.4$ mEq/L로 비교적 안정된 수준이었다. sFW구에서 Cl^- 농도는 3시간째에 78.0 ± 7.1 mEq/L로 실험개시시의 146.0 ± 2.2 mEq/L에 비해 50% 수준으로 낮아졌으며 ($P < 0.05$), 24시간째부터 증가하기 시작하여 30일째에는 146.3 ± 2.5 mEq/L로 실험개시시 수준으로 회복되었다. fSW구에서는 3시간째와 24시간째에 각각 177.0 ± 10.4 mEq/L, 168.3 ± 19.4 mEq/L로 실험개시시의 151.5 ± 2.1 mEq/L보다 유의하게 높았으나 ($P < 0.05$), 30일째에는 실험개시시 수준으로 회복되었다.

3. 혈장의 총단백질량, AST 및 ALT

두 실험구에서 총단백질량과 AST는 실험기간 동안 큰 변화가 없었으며, 실험구간에도 차이를 나타내지 않았다 ($P > 0.05$) (Table 1). ALT는 sFW구에서 3시간째에 4.7 ± 0.6 IU/L로 실험개시시의 2.8 ± 1.0 IU/L보다 높았으나 ($P < 0.05$) 30일째에 실험개시시 수준으로 회복된 반면, fSW구에서는 24시간째부터 높아졌다가 30일째에 실험개시시의 수준으로 회복되었다.

4. 혈액의 Ht, RBC 및 Hb

두 실험구에서 Ht, RBC, Hb의 변화는 Table 2와 같다. sFW구에서 감성돔 혈액의 Ht는 실험개시시에 $18.5 \pm 0.6\%$ 였던 것이 12시간째에 $25.3 \pm 4.0\%$ 로 유의하게 높아졌다가 ($P < 0.05$), 이후부터 감소하여 30일째에는 $10.6 \pm 0.1\%$ 로 실험개시시의 수준보다 낮아졌다. RBC는 실험개시시에 $2.3 \pm 0.2 \times 10^6$ cell/ μ L였던 것이 3시간째에 $3.0 \pm 0.5 \times 10^6$ cell/ μ L로 유의하게 증가하였으나 ($P < 0.05$),

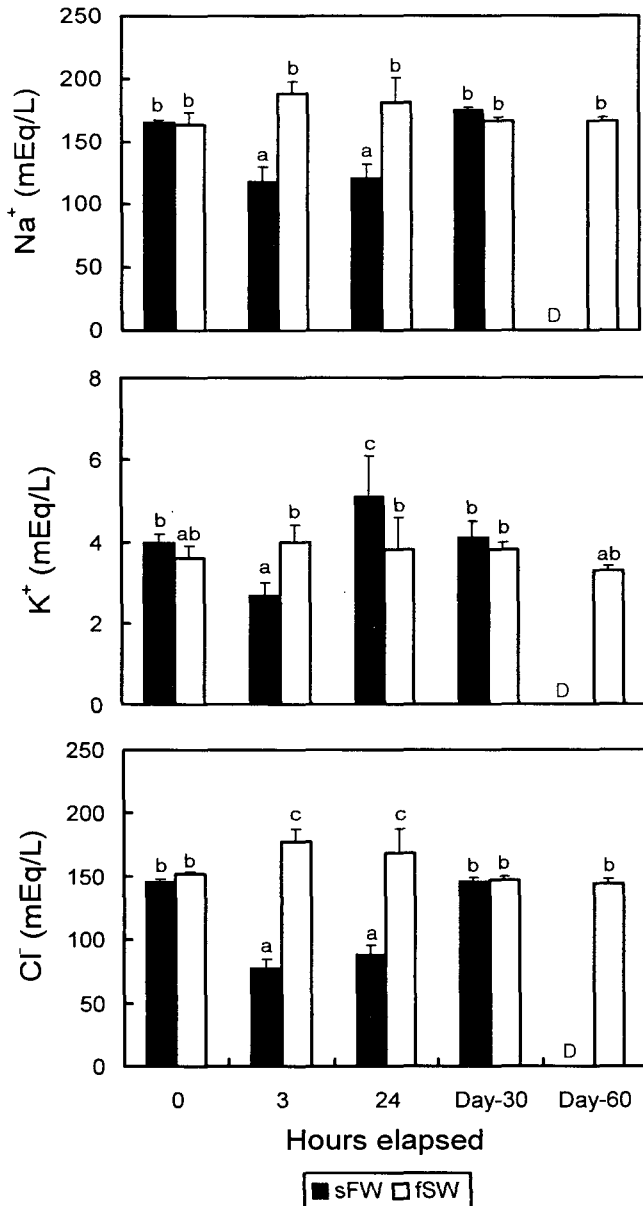


Fig. 3. Variations of Na^+ , K^+ and Cl^- concentrations in plasma of juvenile black seabream in the abrupt salinity changes. Same alphabetic letters on the same colored bars are not significantly different ($P > 0.05$). sFW: transfer from seawater to freshwater, fSW: transfer from freshwater to seawater, D: dead.

24시간째부터 감소하여 30일째에는 $1.5 \pm 0.1 \times 10^6$ cell/ μ L였다. Hb는 실험개시시에 14.2 ± 1.1 g/dL로부터 3시간째에 20.8 ± 4.0 g/dL로 증가하였으며 ($P < 0.05$), 24시간째까지 비슷한 수준을 유지하였다. MCV는 실험개시시에 80.2 ± 9.9 fL로부터 3시간째 79.6 ± 6.3 fL로 감소하였으며 ($P < 0.05$), 30일째까지 비슷한 수준을 유지하였다. MCH는 12시간째 52.4 ± 2.7 pg으로 실험개시시의 61.9 ± 1.3 pg에 비해 감소하였으나 ($P < 0.05$), 24시간째에는 실험개시시 수준으

Table 1. Variations of total protein, AST and ALT levels in plasma of juvenile black seabream in the abrupt salinity changes

Hours elapsed	Total protein (mg/mL)		AST (IU/L)		ALT (IU/L)	
	sFW	fSW	sFW	fSW	sFW	fSW
0	38.0 ± 6.1	37.0 ± 4.2	6.5 ± 0.7 ^a	22.0 ± 18.4 ^{ab}	2.8 ± 1.0 ^a	2.5 ± 0.7 ^a
3	39.3 ± 5.5	34.0 ± 6.9	28.0 ± 18.4 ^{ab}	28.0 ± 1.4 ^{ab}	4.7 ± 0.6 ^b	3.7 ± 0.6 ^{ab}
24	40.5 ± 3.9	37.3 ± 5.0	18.3 ± 14.4 ^a	42.5 ± 7.8 ^b	4.3 ± 1.2 ^b	4.8 ± 0.5 ^b
Day-30	32.0 ± 1.7	39.0 ± 4.3	17.7 ± 2.3 ^a	15.0 ± 5.7 ^a	3.7 ± 1.2 ^{ab}	2.7 ± 1.2 ^a
Day-60	D	35.3 ± 4.3	D	13.5 ± 3.1 ^a	D	2.5 ± 0.6 ^a

The values are mean ± SD (n=6). Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different (P>0.05). AST: aspartate aminotransferase, ALT: alanine aminotransferase, sFW: transfer from seawater to freshwater, fSW: transfer from freshwater to seawater, D: dead.

로 회복되었다. MCHC는 실험개시시에 71.6 ± 8.1% 였던 것이 3시간째에 90.4 ± 10.4%로 유의하게 증가하였다 (P<0.05), 12시간째에는 실험개시시 수준으로 회복되었다. 그러나, 24시간째에 91.5 ± 7.8%로 증가하였으며, 30일째에는 83.1 ± 0.1%로 감소하였다.

fSW구에서 Ht와 RBC는 실험개시시에 각각 16.2 ± 2.2%, 2.1 ± 0.3 × 10⁶ cell/μL로부터 12시간째에 각각 24.9 ± 3.1%, 3.1 ± 0.4 × 10⁶ cell/μL로 증가하였다 (P<0.05), 24시간째에 각각 20.7 ± 2.4%, 2.3 ± 0.3 × 10⁶ cell/μL로 회복하였다. 그러나, 30일째와 60일째에 각각 28.3 ± 8.2%, 3.2 ± 1.0 × 10⁶ cell/μL와 32.1 ± 0.7%, 3.1 ± 0.7 × 10⁶ cell/μL로 다시 증가하였다 (P<0.05). Hb는 실험개시시에 12.8 ± 0.9 g/dL로부터 12시간째에 16.7 ± 1.6 g/dL로 증가하였다 (P<0.05) 이후부터는 실험개시시와 차이를 보이지 않았다. MCV는 24시간째에 증가하였으며 (P<0.05), MCH는 12시간째에 53.3 ± 4.2 pg으로 실험개시시의 62.2 ± 4.0 pg보다 감소하였지만 (P>0.05), 24시간째에는 55.8 ± 2.2 pg으로 실험개시시와 차이를 보이지 않았다. 그러나, 30일째와 60일째에 각각 41.9 ± 14.1 pg, 44.6 ± 9.9 pg으로 감소하였다 (P>0.05). MCHC는 실험개시시에 78.5 ± 5.5% 였던 것이 12시간째에 67.5 ± 5.1%로 유의하게 감소하였으며 (P>0.05), 이후에도 실험종료시까지 계속적으로 감소하였다 (Table 2).

Table 2. Variations of hematological factors of juvenile black seabream in the abrupt salinity changes

Hours elapsed	Ht (%)		RBC (×10 ⁶ cell/μL)		Hb (g/dL)		MCV (fL)		MCH (pg)		MCHC (%)	
	sFW	fSW	sFW	fSW	sFW	fSW	sFW	fSW	sFW	fSW	sFW	fSW
0	18.5 ± 0.6 ^b	16.2 ± 2.2 ^a	2.3 ± 0.2 ^b	2.1 ± 0.3 ^a	14.2 ± 1.1 ^b	12.8 ± 0.9 ^{ab}	80.2 ± 9.9 ^b	79.2 ± 1.5 ^a	61.9 ± 1.3 ^{bc}	62.2 ± 4.0 ^c	71.6 ± 8.1 ^{ab}	78.5 ± 5.5 ^d
3	22.9 ± 2.7 ^{bc}	19.1 ± 3.4 ^a	3.0 ± 0.5 ^c	2.4 ± 0.2 ^a	20.8 ± 4.0 ^c	14.3 ± 2.4 ^b	78.6 ± 5.3 ^a	79.6 ± 6.3 ^a	70.9 ± 8.1 ^c	59.7 ± 3.3 ^{bc}	90.4 ± 10.4 ^c	75.3 ± 6.3 ^{cd}
12	25.3 ± 4.0 ^c	24.9 ± 3.1 ^{bc}	3.4 ± 0.4 ^c	3.1 ± 0.4 ^b	17.7 ± 2.4 ^{bc}	16.7 ± 1.6 ^c	74.7 ± 4.8 ^a	79.5 ± 10.3 ^a	52.4 ± 2.7 ^a	53.3 ± 4.2 ^b	70.3 ± 4.6 ^a	67.5 ± 5.1 ^{bc}
24	20.6 ± 3.5 ^b	20.7 ± 2.4 ^{ab}	2.8 ± 0.5 ^{bc}	2.3 ± 0.3 ^a	19.2 ± 2.4 ^c	12.9 ± 1.4 ^{ab}	72.2 ± 2.7 ^a	89.3 ± 3.7 ^b	65.3 ± 7.2 ^{bc}	55.8 ± 2.2 ^{bc}	91.5 ± 7.8 ^c	62.6 ± 2.9 ^b
Day-30	10.6 ± 0.1 ^a	28.3 ± 8.2 ^{cd}	1.5 ± 0.1 ^a	3.2 ± 1.0 ^b	8.8 ± 0.1 ^a	12.4 ± 1.3 ^a	72.7 ± 0.1 ^a	88.6 ± 3.6 ^b	60.4 ± 0.2 ^{ab}	41.9 ± 14.1 ^a	83.1 ± 0.1 ^{bc}	47.1 ± 15.3 ^a
Day-60	D	32.1 ± 0.7 ^d	D	3.1 ± 0.7 ^b	D	13.4 ± 2.8 ^{ab}	D	103.1 ± 9.7 ^c	D	44.6 ± 9.9 ^a	D	43.4 ± 9.9 ^a

The values are mean ± SD (n=6). Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different (P>0.05). Ht: hematocrit, RBC: red blood cell, Hb: hemoglobin, MCV: mean corpuscular volume, MCH: mean corpuscular hemoglobin, MCHC: mean corpuscular hemoglobin concentration, sFW: transfer from seawater to freshwater, fSW: transfer from freshwater to seawater, D: dead.

5. 생존율

sFW구에서 실험기간중 감성돔 치어의 생존율은 5일째에 25%로 급격히 감소하여 30일째에는 15%였으며, 50일째에는 0%에 달하였다. fSW구에서는 35일째까지 90%였으며, 실험종료시에는 85%였다 (Fig. 4).

고 찰

본 연구에서는 해산어류인 감성돔의 담수순화 방법을 개발하는데 목적을 두었으며, 담수순화시 또는 담수에서 다시 해수로 전환사육시 사육수의 염분변화에 따른 생리적 반응을 조사하고자 하였다.

사육수의 염분변화는 어류에 스트레스 요인으로 작용하여 삼투압 조절이 불안정해지며 (Mazeaud et al., 1977), 혈중 카테콜아민 (Schreck, 1982)과 cortisol (Chang and Hur, 1999) 수준을 상승시킨다. 어류는 이러한 스트레스가 지속되면 질병에 대한 저항성이 감소되며 (Wedemeyer and Yasutake, 1977), 성장과 번식에도 영향이 미치게 된다. 어류가 스트레스에 노출되면 뇌-교감신경-크롬친화성세포축 (Perry and Reid, 1993)과 뇌-뇌하수체-간신선축 (Specker et al., 1989)에 이르는 두 계통의 활성이 높아져 카테콜아민과 cortisol을 혈중으로 빠르게 방출되게 하여, 결과적으로 글루코스 신생합성 (gluconeogenesis)을 통한 글루코스의 혈중 분비를 증가시킨다. 이러한 체내 대사과정에 의해 나타나는 cortisol과 글루코스의 농도변화는 어체가 받은 스트레스의 지표로 인정된다 (Wedemeyer and Yasutake, 1977). 또한 혈액의 젖산, 지질, 단백질, 전해질, Ht, Hb 및 간 글리코겐의 양적 변화도 스트레스와 어체가 받은 스트레스의 평가지표로 이용되기도 한다 (Wedemeyer and McLeay, 1981).

감성돔을 해수에서 즉시 담수로 이동하였을 때, cortisol의 농도는 3시간째 증가하였다가 24시간째에 회복됨으로써, 급격한 염분변화에 대하여 급성 스트레스 반응을 나타낸 다음, 하루 정도의 시간 이내에 cortisol 농도가 원래의 상태로 복원됨을 알 수 있었다. Barton and Iwama (1991)는 어류에게 스트레스를 주었을 때, 어중에 따라 혈중 cortisol 농도의 급상승에 이르는 소요시간과

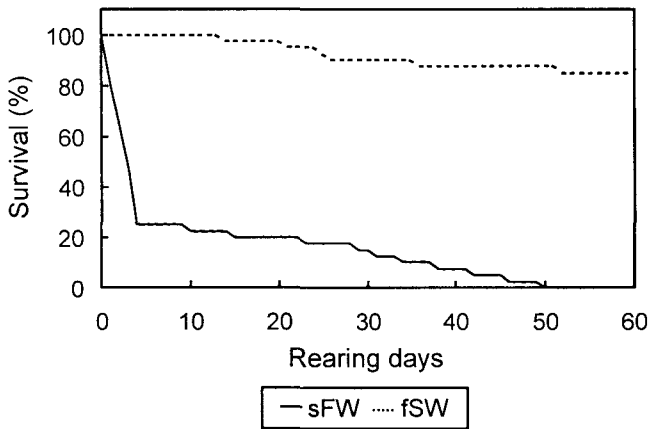


Fig. 4. Survival rates of juvenile black seabream in the abrupt salinity changes during experimental period. sFW: transfer from seawater to freshwater, fSW: transfer from freshwater to seawater.

상승속도가 다르게 나타난다고 하였으며, Einarsdottir and Nilsen (1996)은 대서양 연어 (*Salmo salar*)의 경우, 수심감소에 따른 cortisol의 농도는 실험 1시간 이내에 최고값을 나타내고 이후 2시간째부터는 실험개시시와 차이를 보이지 않았던 것으로 보고한 바 있다. 또한 red drum의 핸들링 스트레스에 따른 cortisol의 농도는 1시간째에 최고값을 보인 다음, 3시간 이후부터 안정값으로 회복 하였으며 (Robertson et al., 1987), Foo and Lam (1993)은 틸라 피아에서 핸들링 스트레스의 반응으로 cortisol이 4분 이내에 증가하기 시작하여 30분에 최고수준에 달한다고 보고하였다. 이와 같이 대부분 연구에서 어체에 급성 스트레스를 주었을 때, 혈중 cortisol 농도는 3시간 이전에 최고값으로 증가하고, 다시 회복되는 시간은 6시간 이내인 것으로 알려지고 있다 (Barton et al., 1980; Pickering and Pottinger, 1989). 한편, 감성돔의 담수순환시 해수에서 담수로 즉시 이동한 것은 단계적으로 염분을 변화시킨 방법보다 혈중 cortisol의 최고값이 훨씬 높았으며 (unpublished data), 이것은 급격한 염분변화 만큼 스트레스를 많이 받고 있음을 의미하며, 결국 장기간의 담수사육시 감성돔은 담수환경에 적응하지 못하고 그 결과로 생존율도 누적적으로 감소하여 50일째에는 모두 폐사하였다. 그러나, 이미 담수에 적응된 감성돔이 다시 해수로 되돌려졌을 때는 cortisol의 농도가 24시간까지 다소 증가하는 경향을 보였지만 실험개시시와 유의한 차이를 보이지 않음으로써, 이미 담수에 적응된 감성돔은 급격한 염분변화에 스트레스를 적게 받는다는 것을 알 수 있었다.

일반적으로 글루코스는 스트레스에 의해 증가되며, Barton and Iwama (1991)는 cortisol의 농도가 높아짐에 따라 글루코스의 농도도 함께 높아지는 현상은 스트레스에 의한 호르몬 상승 반응에 뒤따른 2차반응의 결과라고 하였다. 이러한 결과는 송어, *Mugil cephalus* (Chang and Hur, 1999), pejerrey, *Odontesthes bonariensis* (Tsuzuki et al., 2001) 등의 경골어류에서 보고된 바 있다. 그러나 본 연구에서는 감성돔을 해수에서 담수로 이동하였을 때에는 위의 결과와는 달리 cortisol이 증가함에도 불구하고 유의한

글루코스의 변화가 나타나지 않았는데, 이것은 cortisol에 의해 글루코스 신생합성이 일어나기 전에 글루코스가 항상성 유지를 위해 에너지원으로 급격히 사용되었거나, 3시간 이전에 cortisol과 동반 상승하였다가 cortisol 보다 빠른 시간 이내에 스트레스 이전의 농도로 회복되었을 가능성이 있다.

경골어류의 삼투압 조절은 아가미, 소화관 및 신장에서 이루어진다 (Laurent and Kunel, 1980; Maina, 1990). 본 연구에서 감성돔을 해수에서 담수로 즉시 옮겼을 때, 어류는 체액에 비해 저장액 (hypotonic solution)에 노출됨으로써 삼투압 조절의 혼란에 의해 Na^+ , K^+ 및 Cl^- 이 어체로부터 배출되었고, 이에 따라 최소한 24시간 이내에 회복되지 않았던 것으로 보인다. 이는 저염분 스트레스에 의해 삼투질농도가 낮아짐을 의미한다. 그러나, 담수에서 해수로 옮겼을 때, Cl^- 은 최소 24시간까지 처음 수준보다 증가하는 것으로 보아 이온조절에 약간의 혼란이 있었다고 추측되지만, Na^+ 와 K^+ 농도는 차이를 보이지 않음으로써 삼투압 조절이 해수에서 담수로 이동했을 때보다 빠른 시간내에 정상적으로 회복되고 있음을 알 수 있었다.

어체 혈액의 AST와 ALT는 모두 아민기 전이효소의 일종으로 간, 비장 등의 세포에 분포하고 있는데, 어체가 건강할 때는 혈중의 활성이 낮다가 조직의 피사가 일어나거나, 병적 증상이 나타날 때는 세포외로 방출됨으로써 혈중의 활성이 높아지게 된다 (池田 등, 1986). 본 연구에서는 담수 또는 해수로 이동할 때, AST와 ALT가 증가하는 것으로 보아 급격한 염분변화에 따라 간, 비장 등의 세포가 생리적 부담을 받고 있음을 시사한다.

Ht, RBC 및 Hb 등의 혈액 인자는 생체의 산소 운반능력을 나타낸다. Davis and Parker (1990)는 해산어류에 있어 스트레스는 일반적으로 Ht, RBC 및 Hb 등을 증가시킨다고 하였다. 본 연구에서도 이러한 결과가 두 실험 모두에서 나타났지만, 해수에서 담수로 이동할 때보다 담수에서 해수로 이동할 때에 그 회복속도가 빠른 것으로 보아 염분변화에 대한 스트레스를 덜 받는 것으로 보인다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 감성돔을 해수에서 즉시 담수로 옮겨 사육할 경우, 여러 생리학적 반응이 해수에서 사육할 때와 비슷한 수준으로 회복되기는 하지만, 50일만에 모든 실험어가 폐사한 점으로 보아, 감성돔의 담수순환에 있어서 해수에서 담수로의 급격한 사육수의 변화보다는 단계적인 염분변화를 거치는 완화된 담수순환 방법이 바람직 할 것이다. 또한 담수에 이미 적응된 감성돔은 원래의 해수환경으로 가는 급격한 염분변화에 대하여 스트레스를 적게 받으며 항상성을 잘 유지하는 것으로 보이므로, 담수사육중 수질오염, 질병 등의 발생에 대한 대책으로서 해수사육으로의 전환도 가능하다고 할 수 있다. 따라서 앞으로는 담수순환시 높은 생존율과 스트레스를 최소화할 수 있는 단계적인 염분변화의 방법뿐만 아니라, 장기간 사육을 통한 질병의 저항력, 성장 여부를 함께 조사해야 할 것으로 생각된다.

요 약

해산어류의 담수순환 양식을 위한 기초자료를 얻고자, 감성돔을

즉시 해수에서 담수로 (sFW구), 담수에서 해수로 (fSW구) 전환하였을 때의 혈액 생리학적 변화를 비교하였다.

Cortisol의 농도는 sFW구에서 실험개시시에 34.2 ± 28.6 ng/mL였던 것이 3시간째에 365.6 ± 136.0 ng/mL로 급격하게 증가하였다가 24시간째에 실험개시시 수준으로 회복되었다. fSW구에서는 실험기간동안 유의한 차이를 보이지 않았다. 글루코스 농도는 두 실험구에서 실험기간동안 유의한 차이는 없었다. 혈장 Na^+ , Cl^- 은 sFW구에서 실험개시시에 각각 165.3 ± 2.5 mEq/L, 146.0 ± 2.2 mEq/L였던 것이 3시간째에 118.3 ± 12.3 mEq/L, 78.0 ± 7.0 mEq/L로 감소하였다가 30일째에 실험개시시 수준으로 회복되었다. 총단백질량과 AST는 두 실험구에서 실험기간동안 유의한 차이가 없었다. ALT는 sFW구에서는 3시간째, fSW구에서는 24시간째부터 증가하기 시작하여 30일째에는 모두 실험개시시 수준으로 회복되었다.

Ht는 sFW구에서 실험개시시에 $18.5 \pm 0.6\%$ 로부터 12시간째 $25.3 \pm 4.0\%$ 로 증가하였고, 24시간 이내에 실험개시시 수준으로 회복되었다. fSW구에서는 Ht, RBC, Hb가 12시간째부터 증가하여, 24시간 이내에 모두 실험개시시 수준으로 회복되었다.

생존율은 sFW구에서 5일째 25%로 급격히 낮아진 다음 50일째에 0%를 나타냈으며, fSW구에서는 실험종료시에 85%의 높은 생존율을 보였다.

참 고 문 헌

- 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. *Annu. Rev. Fish Dis.*, 1, 3~26.
- Barton, B.A., R.E. Peter and C.R. Paulencu. 1980. Plasma cortisol levels of fingerling rainbow trout (*Salmo gairdneri*) at rest, and subjected to handling, confinement, transport and stocking. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37, 805~811.
- 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).
- Davis, K.B. and N.C. Parker. 1990. Physiological stress in striped bass: Effect of acclimation temperature. *Aquaculture*, 91, 349~358.
- Donaldson, E.M. 1981. The pituitary-interrenal axis as an indicator of stress in fish. Academic Press, London, 11~47.
- Einarsdottir, I.E. and K.J. Nilssen. 1996. Stress responses of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) elicited by water level reduction in rearing tanks. *Fish Physiol. Biochem.*, 15, 395~400.
- Fontainhas-Fernandes, A., F. Russell-Pinto, E. Gomes, M.A. Reis-Henriques and J. Coimbra. 2001. The effect of dietary sodium chloride on some osmoregulatory parameters of the teleost, *Oreochromis niloticus*, after transfer from freshwater to seawater. *Fish Physiol. Biochem.*, 23, 307~316.
- Foo, J.T.W. and T.J. Lam. 1993. Serum cortisol response to handling stress and the effect of cortisol implantation on testosterone level in the tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Aquaculture*, 115, 145~158.
- Lasserre, P., G. Boeuf and Y. Harache. 1978. Osmotic adaptation of *Oncorhynchus kisutch* Walbaum. 1. Seasonal variations of gill Na^+ , K^+ -ATPase activity in coho salmon, 0⁺-age and yearling, reared in freshwater. *Aquaculture*, 14, 365~382.
- Laurent, P. and S. Kunel. 1980. Morphology of gill epithelia in fish. *Am. J. Physiol.*, 238, 147~159.
- 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.
- Mazeaud, M., F. Mazeaud and E.M. Donaldson. 1977. Primary and secondary effects of stress in fish: Some new data with a general review. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 106, 201~212.
- 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.
- 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: Effects of chronic elevation of plasma cortisol. *Fish Physiol. Biochem.*, 7, 253~258.
- Robertson, L., P. Thomas, C.R. Arnold and J.M. Trant. 1987. Plasma cortisol and secondary stress responses of red drum to handling, transport, rearing density, and disease outbreak. *Prog. Fish-Cult.*, 49, 1~12.
- Schreck, C.B. 1982. Stress and rearing of salmonids. *Aquaculture*, 28, 241~249.
- Singley, J.A. and W. Chavin. 1971. Cortisol levels of normal goldfish, *Carassius auratus* L., and response to osmotic change. *Am. Zool.*, 11, 653pp.
- Specker, 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.
- Tsuzuki, M.Y., K. Ogawa, C.A. Strussmann, M. Maita and F. Takashima. 2001. Physiological responses during stress and subsequent recovery at different salinities in adult pejerrey *Odonesthes bonariensis*. *Aquaculture*, 200, 349~362.
- Wedemeyer, G.A. and D.J. McLeay. 1981. Methods for determining the tolerance of fishes to environmental stressors. In *Stress and Fish* (Ed. by A.D. Pickering), Academic Press, London, 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 Paper, 89, 18pp. Washington D.C.
- 池田彌生, 尾崎久雄, 瀬崎哲次郎. 1986. 魚類血液圖鑑. 緑書房, 東京, 361 pp.

2002년 9월 2일 접수

2002년 11월 5일 수리