

## 염분변화 속도를 달리한 담수순화 과정에서 강도다리 *Platichthys stellatus*의 생리학적 반응

김영수, 도용현, 민병화<sup>1</sup>, 임한규<sup>1</sup>, 이복규<sup>2</sup>, 장영진\*  
부경대학교 양식학과, <sup>1</sup>국립수산과학원 양식관리과, <sup>2</sup>동의대학교 생물학과

### Physiological Responses of Starry Flounder *Platichthys stellatus* during Freshwater Acclimation with Different Speeds in Salinity Change

Young Soo Kim, Yong Hyun Do, Byung Hwa Min<sup>1</sup>, Han Kyu Lim<sup>1</sup>, Bok Kyu Lee<sup>2</sup> and Young Jin Chang\*

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

<sup>1</sup>Department of Aquaculture Management, National Fisheries Research and Development Institute

<sup>2</sup>Department of Biology, Donggeui University, Busan 614-174, Korea

Physiological responses (hematological factors, cortisol, glucose, osmolality, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup>) in starry flounder *Platichthys stellatus* were investigated during freshwater acclimation in the conditions of different speeds in salinity change with acute-decrease (AD) or stepwise-decrease (SD I and II). In AD of acute-decrease salinity, hematocrit (Ht), red blood cell (RBC) and hemoglobin (Hb) were rapidly increased more than SD I of stepwise-decrease salinity. But in case of SD II, Ht, RBC and Hb were no significant difference from beginning to end of this experiments. In AD, cortisol level significantly increased from 2.1±1.0 µg/mL at the beginning to 13.7±0.2 µg/mL at 6 hours and recovered to the basal levels (3.1 µg/mL) at 10 days. In SD I, cortisol level was significantly increased from 2.1±1.0 µg/mL at the beginning to 13.6±0.6 µg/mL at 6 hours and recovered to the basal levels (3.1±0.4 µg/mL) at 10 days. In SD II, cortisol level was a little increased from 2.1±1.0 µg/mL at the beginning to 10.5±2.5, 10.8±5.6 µg/mL at 6, 12 hours and recovered to the basal level at 48 hours. Glucose level of AD, SD I, II were no significant difference from beginning to end of this experiments. Osmolality was 286.8±3.3 mOsm/kg at the beginning. In SD II of stepwise-decrease, osmolality was no significant difference during rearing in freshwater (FW). But AD of stepwise-decrease and SD I of stepwise-decrease, osmolality was a little decreased end of this experiments. In AD of acute-decrease, only Cl<sup>-</sup> level was showed no significant difference from beginning to end of experiment and Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> levels were decreased. In case of SD I, Cl<sup>-</sup> level was showed no significant difference from beginning to end of experiment and Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> levels were decreased.

**Keywords :** Starry flounder, *Platichthys stellatus*, Freshwater acclimation, Salinity change, Physiological response

### 서 론

강도다리 *Platichthys stellatus*는 북미 연안국의 주요 상업어종으로 한국을 비롯한 일본, 오키와키해, 베링해에서 캘리포니아만에 이르는 북태평양의 전 해역에 광범위하게 분포하며, 연안근처의 150 m 이내의 수심에 서식하면서 담수역에도 종종 나타나는데, 이로 보아 강도다리가 삼투압조절 능력이 뛰어난 광염성 어종인 것으로 판단된다. 또한, 강도다리는 육질이 담백하고 탄력이 있어 한국사람의 입맛에 맞고 희소성 때문에 넙치에 비해 고급횡감으로 평가 받고 있다.

따라서, 강도다리의 우수한 삼투압조절 능력을 이용하여 강

도다리의 담수양식이 이루어진다면, 내수면 어류양식의 활성화로 담수양식의 생산증대와 소득향상, 적조나 태풍 등의 자연재해 회피, 질병 발생시 즉각 해수사육으로 전환하여 삼투압충격에 의한 치료 등의 장점을 기대해 볼 수 있다. 그러나 해수어류를 담수로 순화시키는 과정에서 인위적인 염분급변은 어체의 생리반응에 큰 영향을 미치는 요인이 되며, 삼투압조절에 영향을 미침으로써, 이온과 수분 평형의 혼란, 스트레스 등을 유발한다고 알려져 있다(Min et al., 2003). 따라서 담수환경은 해수어류인 강도다리에 스트레스 요인으로 작용하겠지만, Min et al. (2005)에 의하면 성장과 생존율에서 담수사육감성돔이 다소 높았으며, 병적 증상이 나타나지 않았던 점을 고려해 볼 때 담수환경은 감성돔의 생리상태에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 논

\*Corresponding author: yjchang@pknu.ac.kr

의된 바 있다.

그러므로, 본 연구에서는 해수어류인 강도다리의 성공적인 담수순화 및 담수양식 기법을 개발하기 위하여, 염분변화 속도를 달리한 담수순화 조건에서 첫째 스트레스를 최소화할 수 있는 담수순화 방법을 밝히며, 둘째 담수순화시 스트레스 요인에 대한 어체의 생리 상태를 각각의 염분변화별 강도다리와 해수 사육한 강도다리를 비교하여, 담수순화에 관한 기초자료로 제공하고자 하였다.

### 재료 및 방법

#### 실험어와 실험조건

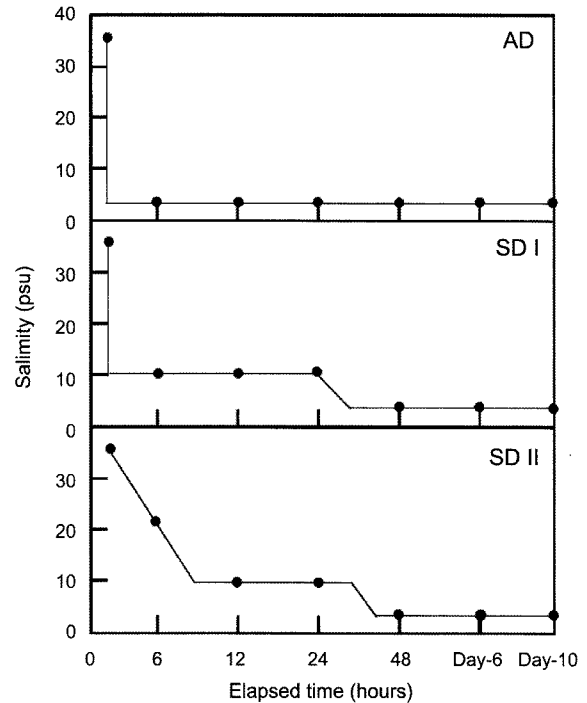
10개의 200 L 지수식 사육수조에서 사육중인 총 220마리의 2년생 강도다리를 사용하여 급격한 염분변화와 단계적 염분변화에 의한 담수순화 실험을 실시하였다(Table. I). 급격한 염분변화에서는 21마리의 실험어를 즉시 0 psu의 200 L 담수수조로 옮겼으며(AD), 단계적 염분변화에서도 각각 21마리의 실험어를 10 psu의 200 L 수조로 즉시 옮겨, 24시간동안 유지한 다음, 염분이 0 psu가 되게 하는 실험구(SD I)와 시간당 2 psu씩 염분을 낮추어 12시간만에 10 psu가 되도록 하여 48시간 유지한 다음, 단계적으로 염분을 낮추어 10시간만에 0 psu의 담수가 되도록 하는 실험구(SD II)로 나누어 자연 광주기 상태로 실험을 실시하였다. 혈액은 실험 개시시, 6, 12, 24, 48시간째, 6, 10일째에 각각 채취하였다.

#### 혈액의 채취와 분석

실험기간중 혈액채취 시간은 Fig. 1에 나타내었다. 각 실험에서 실험어 3마리로부터 heparin sodium 처리 주사기(3 mL)를 사용하여 마취없이 마취관에서 30초 이내에 혈액을 채취하였고 혈액을 채취한 실험어는 즉시 제거하였다. 실험어로부터 혈액을 채취하기 이전에 공급한 먹이가 어체의 혈액성상에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 채혈 24시간전부터 절식시켰다. 채취한 혈액의 일부를 원심분리(5,600×g, 5분)하여 얻은 혈장으로 분석전까지 -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, Hewlett Packard Gamma Counter (Cobra II 5010, Packard Co., USA)로 측정하였다. 혈장 글루코스, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> 농도분석을 위하여 생화학 자동분석기(Advid 1650, JEOL Co., Japan)를 사용하였다. 혈장 삼투질농도는 micro-osmometer (3MO plus, Advanced Instruments Inc., USA)를 사용하여 분석하였다. 나머지 혈액은 채혈 직후에 자동혈액분석기(SEAC, Italy)를 사용하여, 전혈에 대한 적혈구용적(hematocrit, Ht), 적혈구수(red blood cell, RBC), 혈색소농도(hemoglobin, Hb)를 분석하였다.

**Table 1.** Size of starry flounder used in experiments of salinity change

	Salinity change	Total length (cm)	Body weight (g)
Freshwater	Acute decrease	19.6±1.7	167.2±33.1
	Stepwise decrease I	18.9±1.8	168.4±43.3
	Stepwise decrease II	18.7±1.6	162.8±42.0
Seawater		18.3±1.4	147.6±37.7



**Fig. 1.** Salinity changes designed for the AD, SD I and SD II. Points indicate the blood sampling time.

#### 통계처리

각 실험결과로부터 얻어진 자료값 사이의 유의차 유무는 SPSS-통계 패키지(version 10.1)에 의한 ANOVA 및 Duncan's multiple range test로 검정하였다.

### 결 과

#### 혈액의 Ht, RBC 및 Hb

Ht, RBC 및 Hb의 변화는 Table 2에 나타내었다. AD에서 Ht는 실험개시시의 15.8±1.2%로부터, 6시간째에 72.7±21.3%로 급격히 증가하였으나 실험종료시 10일째에 14.4±2.8%로 실험개시시 수준으로 회복하였다. RBC의 경우, 실험개시시 2.4±0.3×10<sup>6</sup> cell/μL였던 것이 12시간째에 11.8±0.9×10<sup>6</sup> cell/μL로 증가하였고, 실험종료시에 실험개시시 수준으로 회복되는 것을 볼 수 있었다. Hb는 실험개시시에 9.8±1.1 g/dL였으며 서서히 증가하여 24시간째에 15.4±5.8 g/dL로 나타났으나 10일째는

**Table 2.** Variations of hematocrit, red blood cell and hemoglobin levels in plasma of starry flounder in AD, SD and SD

Elapsed time (hours)	HT (%)			RBC ( $\times 10^6$ cell/ $\mu$ L)			Hb (g/dL)		
	SW $\rightarrow$ FW			SW $\rightarrow$ FW			SW $\rightarrow$ FW		
	AD	SD I	SD II	AD	SD I	SD II	AD	SD I	SD II
0	15.8 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	15.8 $\pm$ 1.7 <sup>a</sup>	15.8 $\pm$ 1.7 <sup>a</sup>	2.4 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	2.4 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	2.4 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	9.8 $\pm$ 1.1 <sup>ab</sup>	9.8 $\pm$ 2.7 <sup>ab</sup>	9.8 $\pm$ 2.7 <sup>b</sup>
6	72.7 $\pm$ 21.3 <sup>b</sup>	21.1 $\pm$ 4.4 <sup>b</sup>	14.2 $\pm$ 3.9 <sup>a</sup>	11.3 $\pm$ 1.5 <sup>b</sup>	2.8 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	2.2 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	11.0 $\pm$ 2.3 <sup>ab</sup>	8.5 $\pm$ 2.1 <sup>ab</sup>	7.7 $\pm$ 2.6 <sup>a</sup>
12	69.6 $\pm$ 14.9 <sup>b</sup>	37.5 $\pm$ 17.2 <sup>ab</sup>	13.9 $\pm$ 1.8 <sup>a</sup>	11.8 $\pm$ 0.9 <sup>b</sup>	5.3 $\pm$ 2.4 <sup>b</sup>	2.0 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	12.8 $\pm$ 2.3 <sup>bc</sup>	8.3 $\pm$ 2.8 <sup>ab</sup>	6.6 $\pm$ 1.5 <sup>a</sup>
24	16.7 $\pm$ 6.8 <sup>a</sup>	28.5 $\pm$ 23.6 <sup>a</sup>	16.1 $\pm$ 4.0 <sup>a</sup>	2.1 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	3.7 $\pm$ 3.2 <sup>ab</sup>	2.2 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	15.4 $\pm$ 5.8 <sup>c</sup>	10.5 $\pm$ 3.5 <sup>b</sup>	7.9 $\pm$ 1.7 <sup>a</sup>
48	23.0 $\pm$ 12.0 <sup>a</sup>	15.7 $\pm$ 2.1 <sup>a</sup>	15.4 $\pm$ 3.5 <sup>a</sup>	3.2 $\pm$ 1.7 <sup>a</sup>	2.2 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	2.3 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	9.9 $\pm$ 2.6 <sup>ab</sup>	9.3 $\pm$ 1.2 <sup>ab</sup>	6.6 $\pm$ 1.6 <sup>a</sup>
Day-6	15.6 $\pm$ 3.4 <sup>a</sup>	16.1 $\pm$ 4.6 <sup>a</sup>	16.0 $\pm$ 4.8 <sup>a</sup>	2.1 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	2.2 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	2.2 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	8.0 $\pm$ 1.9 <sup>a</sup>	9.0 $\pm$ 2.9 <sup>ab</sup>	7.3 $\pm$ 2.7 <sup>a</sup>
Day-10	14.4 $\pm$ 2.8 <sup>a</sup>	14.7 $\pm$ 4.1 <sup>a</sup>	12.3 $\pm$ 5.1 <sup>a</sup>	2.1 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	2.1 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	1.7 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	8.9 $\pm$ 1.0 <sup>ab</sup>	6.7 $\pm$ 2.9 <sup>a</sup>	7.7 $\pm$ 3.0 <sup>a</sup>

The values are mean $\pm$ SD. 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, FW: freshwater, SW: seawater.

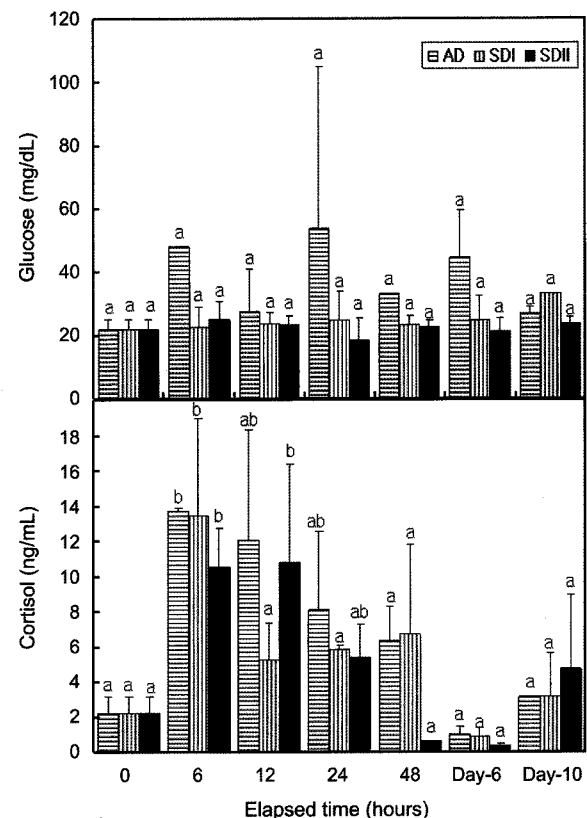
실험개시시 수준으로 회복하였다. SD I에서 Ht는 실험개시시 15.8 $\pm$ 1.2%였으며 12시간째에 37.5 $\pm$ 17.2%로 증가한 후 48시간째에 15.7 $\pm$ 2.1%로 실험개시시 수준으로 회복하였다. RBC는 실험개시시에 2.4 $\pm$ 0.3 $\times 10^6$  cell/ $\mu$ L였으며 12시간째에 5.26 $\pm$ 2.4 $\times 10^6$  cell/ $\mu$ L로 증가하였다가 48시간째에 실험개시시 수준으로 회복되었다. Hb는 실험개시시에 9.8 $\pm$ 1.1 g/dL였으며, 24시간째에 10.5 $\pm$ 3.5 g/dL로 증가했으나, 실험종료시인 10일째에 7.87 $\pm$ 0.3 g/dL로 유의한 변화를 보이지 않았다. SD II에서 Ht, RBC 및 Hb는 실험개시시에 9.8 $\pm$ 1.1 g/dL였으며 실험종료시에 7.68 $\pm$ 3.0 g/dL로 실험개시시 수준과 유의한 변화를 보이지 않았다.

#### 혈장의 cortisol 및 글루코스 농도

Cortisol과 글루코스의 변화는 Fig. 2와 같다. AD에서 혈장 cortisol의 농도는 실험개시시 2.1 $\pm$ 1.0  $\mu$ g/mL로부터 실험개시후 6시간째에 13.7 $\pm$ 0.2  $\mu$ g/mL로 급격히 증가하였으나, 점차 감소하여 실험종료시인 10일째에 3.1  $\mu$ g/mL를 나타내 실험개시시 수준으로 회복되었다. 글루코스 농도는 실험종료시까지 유의한 차이가 나타나지 않았다. SD I에서 혈장 cortisol의 농도는 실험개시시 2.1 $\pm$ 1.0  $\mu$ g/mL로부터 6시간째에 13.6 $\pm$ 0.6 /mL로 급격히 증가하는 경향을 보였으며, 점차 감소하여 실험종료시인 10일째에 3.1 $\pm$ 0.4  $\mu$ g/mL로 회복되었다. 글루코스 농도는 실험개시시 21.7 $\pm$ 3.2 mg/mL로부터 실험종료시인 10일째까지 유의한 차이가 나타나지 않았다. SD II에서 혈장 cortisol의 농도는 실험개시시 2.1 $\pm$ 1.0  $\mu$ g/mL로부터 6시간째와 12시간째에 각각 10.5 $\pm$ 2.5, 10.8 $\pm$ 5.6  $\mu$ g/mL로 증가하는 경향을 보였으나 48시간째부터 실험개시시 수준으로 회복되는 경향을 보였으며, 실험종료시인 10일째에 4.7 $\pm$ 4.2  $\mu$ g/mL로 실험개시시 수준으로 회복되었다. 글루코스 농도는 실험종료시까지 유의한 차이를 나타내지 않았다.

#### 혈장의 삼투질농도, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> 및 Cl<sup>-</sup> 농도

AD, SD I, SD II의 삼투질농도는 Table 3과 같다. AD, SD I, SD II에서 삼투질농도는 실험개시시 286.8 $\pm$ 3.3, mOsm/kg로



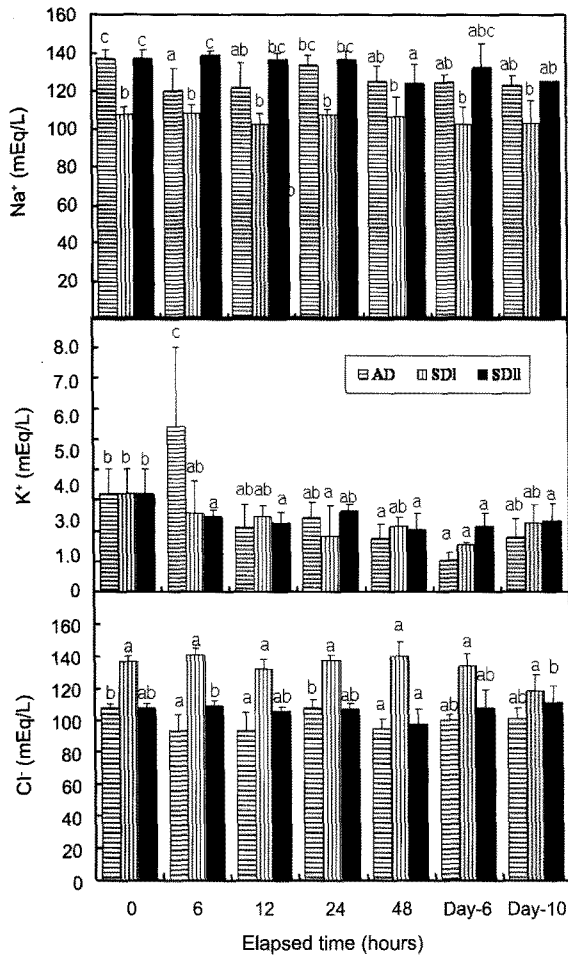
**Fig. 2.** Variations of cortisol and glucose levels in plasma of starry flounder in AD, SD I and SD II. Same alphabetic letters are not significantly different ( $P>0.05$ ).

나타났으나, 세 실험구 모두 실험개시후 6시간째에 각각 263 $\pm$ 5.4, 276.3 $\pm$ 4.5, 266 $\pm$ 4.6 mOsm/kg으로 유의하게 감소하는 경향을 나타내며, 실험종료시인 10일째에 266.3 $\pm$ 8.5, 242.2 $\pm$ 12.5, 269.5 $\pm$ 4.9 mOsm/kg까지 유의한 변화가 보이지 않았다.

Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> 및 Cl<sup>-</sup>의 변화는 Fig. 3과 같다. AD에서 Na<sup>+</sup>의 농도는 실험개시시에 136.8 $\pm$ 4.4 mEq/L였던 것이 6시간째부터 감소하기 시작하여 실험종료시 10일째에도 123.0 $\pm$ 4.8 mEq/L로

**Table 3.** Variations of osmolality levels in plasma of starry flounder reared in freshwater

Elapsed time (hours)	Osmolality (mOsm/kg)		
	AD	SD I	SD II
0	286.8±3.3	286.8±3.3	286.8±3.3
6	263.0±5.4	276.3±4.5	277.3±4.6
12	255.7±6.7	269.7±4.7	268.8±2.9
24	268.3±9.1	262.3±4.6	277.3±3.1
48	246.3±7.3	280.0±8.1	254.0±6.9
Day-6	258.5±6.0	269.5±8.8	284.0±13.0
Day-10	266.3±8.5	242.0±12.5	269.5±4.9



**Fig. 3.** Variations of Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> levels in plasma of starry flounder in AD, SD I and SD II. Same alphabetic letters are not significantly different ( $P>0.05$ ).

실험개시시 수준으로 회복하지 않았다. K<sup>+</sup>의 농도는 3.2±0.8 mEq/L였으며 6시간째에 5.4±2.6 mEq/L로 증가하였다가 꾸준히 감소하여 실험종료시 10일째에 1.8±0.6 mEq/L로 실험개시시 수준으로 회복하지 않았다. Cl<sup>-</sup>의 농도는 실험개시시 107.4±3.4 mEq/L였으며, 6, 12시간째에 93.5±10.0, 93.4±11.3 mEq/L로 감소하는 경향을 보였으나 24시간째에 유의하게 증가하였으며 실험종료시 10일째인 101.5±5.7 mEq/L까지 실험개시시의 수준으로

회복되었다. SD에서 Na<sup>+</sup>의 농도는 실험개시시에 136.8±4.4 mEq/L였던 것이 6일째까지는 유의한 변화를 보이지 않았으나, 실험종료시인 10일째에 118.0±12.1 mEq/L로 유의하게 감소하는 경향을 보였다. K<sup>+</sup>의 농도는 실험개시시 3.2±0.8 mEq/L에서 꾸준히 감소하여 실험종료시 10일째에 2.3±0.6 mEq/L로 나타났다. Cl<sup>-</sup>의 농도는 실험개시시에 107.4±3.4 mEq/L부터 실험종료시 10일째에 103.0±9.9 mEq/L까지 유의한 변화를 보이지 않았다. SD에서 Na<sup>+</sup>의 농도는 실험개시시에 136.8±4.4 mEq/L였던 것이 48시간째에 유의하게 감소하였고, 실험종료시인 10일째에 125.2±12.0 mEq/L로 실험개시시 수준으로 회복되지는 않았다. K<sup>+</sup>의 농도는 실험개시시 3.2±0.8 mEq/L였으나 6, 12시간째에 각각 2.4±0.2, 2.2±0.4 mEq/L로 감소하는 경향을 보이고 난 후, 실험종료시 10일째 2.3±0.6 mEq/L까지 유의한 변화를 보이지 않았다. Cl<sup>-</sup>의 농도는 실험개시시에 107.4±3.4 mEq/L부터 실험종료시 10일째에 111.4±10.5 mEq/L까지 유의하게 증가하였다.

### 논 의

해수와 담수를 오가는 광염성 종은 염분 변화에 크게 영향을 받지 않는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2004). 그러나 사육수의 염분변화는 어체의 스트레스 요인으로 작용하여 삼투압조절이 불안정해지거나(Mazeaud et al., 1977), 갑작스런 염분의 변화는 삼투압조절을 위한 체내 이온 평형에 혼란을 가져와 어류에 상당한 스트레스를 주고 심한 경우 사망하는 것으로 알려져 있으며(Chang et al., 2002), Boeuf and Payan (2001)은 많은 연구자들의 연구결과를 종합한 결과, 어류가 발생이나 성장하는 데 있어 환경수의 염분변화에 영향을 받지 않는 어종은 거의 없다고 하였다. 이와 같이 염분변화로 인한 스트레스 요인으로 어체에는 혈중 카테콜아민과 cortisol 수준을 상승시키는 반응이 나타나며, 혈액과 조직에서 카테콜아민과 cortisol의 작용으로 심장박동, 산소소비, 에너지동원의 증가, 불과 이온의 평형이 깨지게 된다(Tomasso et al., 1980; Eddy, 1981; Carmichael et al., 1984; McDonald and Milligan, 1997). 그 결과로 어류는 어병에 대한 저항성이 감소되며(Wedemeyer and Yasutake, 1977), 성장과 번식에도 영향이 미치게 된다.

혈액의 젖산, 지질, 단백질, 전해질, Ht, Hb 및 간 글리코겐의 양적 변화도 스트레스와 어체의 생리활성 평가의 지표로 이용되며(Wedemeyer and McLeay, 1981), Ht, RBC 및 Hb 등의 혈액 인자는 생체의 산소 운반 능력을 가지며 스트레스와 생리활성의 지표로도 사용되어진다. Davis and Parker (1990)는 해수어류에 있어 스트레스는 일반적으로 Ht, RBC 및 Hb 등을 증가시킨다고 하였다. 본 연구에서도 이러한 결과가 단계적인 염분변화의 SD I과 급격한 염분변화에서 모두 나타났으나 단계적인 염분변화의 SD II는 실험종료시까지 유의한 변화를 보이지 않았다. 또한 단계적인 염분변화 SD I이 급격한 염분변화보다 회복속도가 빠른 것과 SD II의 실험구에서 유의한 변화를

보이지 않은 것으로 보아 염분변화에 대한 스트레스를 덜 받는 것으로 보인다.

어류가 스트레스에 노출되면 뇌-교감신경-크롬친화성세포축(Perry and Reid, 1993)과 뇌-뇌하수체-간신선축(Specker et al., 1989)의 두 계의 활성이 높아져 카테콜아민과 cortisol을 혈중으로 빠르게 방출되게 하여, 결과적으로 글루코스 신생합성(gluconeogenesis)을 통한 글루코스의 혈중 분비를 증가시킨다. 이러한 체내 대사과정에 의해 나타나는 cortisol과 글루코스는 어체가 받은 스트레스지표로 인정된다(Wedemeyer and Yasutake, 1977). Cortisol 농도는 실험개시시  $2.1 \pm 1.0 \mu\text{g/mL}$ 로 나타났으나, SD I, II의 실험구 모두에서 6시간째에 급격히 cortisol 농도가 증가하였지만 단계적 염분변화를 준 SD I, II가 급격한 염분변화를 준 AD보다 더 빨리 회복하는 경향을 보였다. 위의 이러한 결과로 볼 때 해수에서 담수로의 급격한 염분변화는 단계적인 염분변화보다 스트레스를 많이 받고 회복 속도도 더 느리다는 것을 알 수 있다. 그러나, cortisol의 농도가 증가하는 것에 있어서는 두가지 측면에서 설명할 수도 있다. 첫째, 급격한 염분변화에 따른 스트레스 반응일 수가 있으며, 둘째, 어류에서 cortisol의 효과는 대사, 삼투압조절, 면역과 연관이 있으며(Pickering, 1987), 광염성 어류에서 cortisol은 해수와 담수에서 매우 중요한 삼투압조절 호르몬이다(Mayer et al., 1967). 특히, 아가미의 염류세포의  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase 활성,  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase  $\alpha$ -subunit의 발현 발달을 촉진시켜 해수적응과 염분내성을 증가시킨다(Pickford et al. 1970). 따라서 cortisol은 어류를 담수에서 해수로 옮길 때 아가미 염류세포의 활성을 향상시키는 작용으로도 볼 수 있으며, 이에 대한 보다 깊은 연구가 필요한 것으로 판단된다.

일반적으로 글루코스는 스트레스에 의해 증가되며, Barton and Iwama (1991)는 cortisol 농도가 높아짐에 따라 글루코스 농도가 높아지는 현상은 스트레스에 의한 호르몬 반응을 뒤따른 2차반응의 결과라고 하였다. 이러한 결과는 송어 *Mugil cephalus* (Chang and Hur, 1999), pejerrey *Odontesthes bonariensis* (Tsuzuki et al., 2001) 등 많은 경골어류에도 보고되고 있다. 그러나 본 연구에서는 이와 다르게 급격한 염분변화시 cortisol의 농도는 증가한 반면 글루코스 농도는 증가하지 않아 일반적으로 알려져있는 코티솔/글루코스 수준의 동반상승 경향을 나타내지 않았으며, 이것은 cortisol에 의해 글루코스 신생합성이 일어나기 전, 글루코스가 항상성 유지를 위해 에너지원으로 급격히 사용되었거나, cortisol과 동반 상승하여 cortisol 보다 빠른 시간 이내에 스트레스 이전의 농도로 회복되었을 가능성도 있다. 이와 같은 결과는 수온 급하강시 넙치에서도 보고되고 있다(Park et al., 1999).

어류는 환경수의 삼투질농도가 체내보다 높으면 삼투압에 의해 이온은 유입되며 물은 빠져나가게 되므로 체내의 일정한 삼투질농도를 유지하기 위하여 이온은 방출하며 물은 흡수하는 저삼투압조절(hypo-osmoregulation)을 한다. 반대로 환경수의

삼투질농도가 체내보다 낮으면 이온은 빠져나가며 물은 유입되므로 이온은 흡수하며 물은 방출하는 고삼투압조절(hyper-osmoregulation)을 한다. 담수 경골어류와 해수 경골어류는 각각  $250\sim 350 \text{ mOsm/kg}$ ,  $350\sim 500 \text{ mOsm/kg}$ 의 혈액 삼투질농도를 가지지만, 강도다리의 실험개시시 삼투질농도는  $286.8 \pm 3.3 \text{ mOsm/kg}$ 으로 나타났으며, AD와 SD I, II에서는 실험종료시에 각각  $266.3 \pm 8.5$ ,  $242.0 \pm 12.5$ ,  $269.5 \pm 4.9 \text{ mOsm/kg}$ 으로 나타나 담수순화된 강도다리가 담수 경골어류의 삼투질농도를 유지하는 것으로 나타났다. 어류가 체액보다 낮은 저장액(hypotonic solution)에 노출되어 삼투압조절의 혼란에 의해  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ 이 AD의 경우,  $\text{Cl}^-$  (mEq/L)만이 실험개시시의 수준과 유의한 변화를 볼 수 없었고,  $\text{Na}^+$  (mEq/L)와  $\text{K}^+$  (mEq/L)는 유의하게 감소하는 경향을 보였다. SD I에서도  $\text{Cl}^-$  (mEq/L)만이 실험개시시의 수준과 유의한 변화를 볼 수 없었고,  $\text{Na}^+$  (mEq/L)와  $\text{K}^+$  (mEq/L)는 유의하게 감소하는 경향을 보였다. SD II에서는  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  모두 유의하게 감소하는 경향을 보였다. 강도다리를 해수에서 담수로 순화하는 방법중 급격한 염분변화는 어체에 많은 스트레스를 주는 것으로 나타났다. 이것은 삼투압조절의 혼란, 여러 조직의 괴사 등을 유발하며 체내의 항상성 유지에 많은 에너지를 소모하게 하므로, 성장 지연이나 질병에 대한 저항력 감소를 초래하여 결국 폐사에 이르게 한다. 그러나 단계적인 염분변화는 스트레스의 정도가 작으며, 또한 그 회복 속도가 빠른 것으로 나타났다. 이러한 결과를 종합적으로 검토해 볼 때, 담수순화 사육시 급격한 염분변화보다는 단계적 염분변화가 바람직하며, 단계적 염분변화에서도 SD I보다 SD II가 더 적은 스트레스를 받는 것으로 나타났다.

## 요 약

본 연구에서는 강도다리의 담수순화방법으로 급격한 염분변화(AD)와 단계적인 염분변화(SD II과 III)를 주었을 때 강도다리의 생리적 반응을 조사하였다.

AD에서 Ht, RBC 및 Hb는 Exp. II에 비해 증가하는 값이 높게 나왔으며 회복하는 속도도 느렸다. 그러나 SD II는 Ht, RBC 및 Hb에서 실험개시시수준과 실험종료시의 값이 유의한 차이를 보이지 않았다. AD에서 cortisol의 농도는 실험개시시  $2.1 \pm 1.0 \mu\text{g/mL}$ 로부터 실험개시후 6시간째에  $13.7 \pm 0.2 \mu\text{g/mL}$ 로 급격히 증가하였으나 10일째에  $3.10 \mu\text{g/mL}$ 로 실험개시시 수준으로 회복되었다. SD I에서 cortisol의 농도는 실험개시시  $2.1 \pm 1.0 \mu\text{g/mL}$ 로부터 6시간째에  $13.6 \pm 0.6 \mu\text{g/mL}$ 로 증가하였고, 실험종료시인 10일째에  $3.1 \pm 0.4 \mu\text{g/mL}$ 로 회복되었다. SD II에서 cortisol의 농도는 실험개시시  $2.1 \pm 1.0 \mu\text{g/mL}$ 로부터 6시간째와 12시간째에 각각  $10.5 \pm 2.5$ ,  $10.8 \pm 5.6 \mu\text{g/mL}$ 로 증가하는 경향을 보였으나 48시간째부터 실험개시시 수준으로 회복되는 경향을 보였다. 글루코스 농도는 AD, SD I과 II에서 cortisol의 경향과 다르게 유의한 차이를 나타내지 않았다.

삼투질농도는 실험개시시  $286.8 \pm 3.3$  mOsm/kg으로 나타났으며, AD와 단계적 염분변화 실험구인 SD I, II에서는 실험종료시에 각각  $266.3 \pm 8.5$ ,  $242.0 \pm 12.5$ ,  $269.5 \pm 4.9$  mOsm/kg으로 유의하게 감소하는 경향을 보였다. 혈장의  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  및  $\text{Cl}^-$  농도는 AD의 경우,  $\text{Cl}^-$  (mEq/L)만이 실험개시시의 수준과 유의한 변화를 볼 수 없었고,  $\text{Na}^+$  (mEq/L)와  $\text{K}^+$  (mEq/L)는 유의하게 감소하는 경향을 보였다. SD I에서도  $\text{Cl}^-$  (mEq/L)만이 실험개시시의 수준과 유의한 변화를 볼 수 없었고,  $\text{Na}^+$  (mEq/L)와  $\text{K}^+$  (mEq/L)는 유의하게 감소하는 경향을 보였다.

## 사 사

본 연구는 수산특정연구개발과제(F106018-06A2200-00110) 지원으로 수행되었음.

## 참고문헌

- 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.
- Boeuf, G. and P. Patrick, 2001. How should salinity influence fish growth. *Com. Biochem. Physiol. Part C*, 130, 411–423.
- 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. 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)
- Chang, Y. J., B. H. Min, H. J. Chang and J. W. Hur, 2002. Comparison of blood physiology in juvenile black seabream (*Acanthopagrus schlegeli*) reared in converted freshwater from seawater and seawater from freshwater. *J. Korean Fish. Soc.*, 35, 595–600. (in Korean)
- Davis, K. B. and N. C. Parker, 1990. Physiological stress in striped bass: Effect of acclimation temperature. *Aquaculture*, 91, 349–358.
- 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, p. 77–102.
- Kim, M. J., S. C. Chung and C. B. Song, 2004. Effect of salinity on growth and survival of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Korean J. Ichthyol.*, 16, 100–106. (in Korean)
- 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. Ame. Fish. Soc.*, 106, 201–212.
- Min, B. H., 2003. Physiological responses of black seabream, *Acanthopagrus schlegeli* to freshwater acclimation. Master thesis, Pukyung National University, Busan, Korea, 55 pp. (in Korean)
- Min, B. H., C. Y. Choi and Y. J. Chang, 2005. Comparison of physiological conditions on black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* acclimated and reared in freshwater and seawater. *J. Aquaculture*, 18, 37–44. (in Korean)
- Park, M. R., Y. J. Chang and D. Y. Kang, 1999. Physiological response of the cultured olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) to the acute changes of water temperature. *J. Aquaculture*, 12, 221–228. (in Korean)
- Perry, S. F. and S. D. Reid, 1993.  $\beta$ -adrenergic signal transduction in fish: interactive effects of catecholamines and cortisol. *Fish. Physiol. Biochem.*, 11, 195–203.
- Pickering, A. D. 1987. Stress responses and disease resistance in farmed fish. *Fish diseases, a treat to the international fish farming industry*. Conference 3, Aqua Nor, Trondheim, Norway.
- Pickford, G. E., P. K. T. Pang, E. weinstein, J. Torretti, E. Hendler and F.H. Epstein, 1970. The response of hypophysectomized cyprinodont, *Fundulus heteroclitus*, to replacement therapy with cortisol: effects on blood serum and sodium-potassium activated adenosine triphosphatase in the gills, kidney and intestinal mucosa. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 14, 524–534.
- 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.
- Tomasso, J. R., K. B. Davis and N. C. Parker, 1980. Plasma corticosteroid and electrolyte dynamics of hybrid striped bass (white bass x striped bass) during netting and hauling stress. *Proc. World Maricult. Soc.*, 11, 303–310.
- 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 *Odontesthes bonariensis*. *Aquaculture*, 200, 349–362.
- 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, 18 pp. Washington D. C.
- 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.

원고접수 : 2008년 10월 7일

심사완료 : 2009년 1월 5일

수정본 수리 : 2009년 2월 8일