

# 소음 스트레스가 조피볼락, *Sebastes schlegeli*의 cortisol과 glucocorticoid receptor의 발현에 미치는 영향

심민경 · 한경남\*

인하대학교 해양과학과

**Effects of Noise Stress on Cortisol and Glucocorticoid Receptor Expression of Korean Rockfish, *Sebastes schlegeli* by Min Kyung Shim and Kyung Nam Han\*** (Department of Ocean Science, Inha University, Incheon 402-751, Korea)

**ABSTRACT** The effects of noise stress response on hematological parameters (hemoglobin, hematocrit and MCHC) and plasma parameters (cortisol, glucose and albumin) in Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*), a very important commercial marine fish in Korea, were investigated. These parameters were analyzed on fish exposed to an explosion of noise. There were no significant differences or trends in hematological parameters (hematocrit; control  $29.7 \pm 4.8\%$ , experiment  $32.0 \sim 35.5\%$ ; hemoglobin; control  $6.5 \pm 0.7$  g/dL, experiment  $6.2 \sim 7.8$  g/dL; MCHC; control  $19.6 \pm 0.6$  g/dL, experiment  $19.9 \sim 22.2$  g/dL). However, plasma cortisol and glucose exhibited significant differences from start to finish and displayed the following patterns (cortisol; control  $180.7 \pm 35.4$  ng/mL, experiment  $247.0 \sim 444.5$  ng/mL; glucose; control  $32.5 \pm 6.3$  mg/dL, experiment  $50.5 \sim 109.0$  mg/dL). In addition, the glucocorticoid receptor (GR) mRNA expression and basal levels of various tissues (eye, gills, liver, intestine, skin and gonads) were investigated for the first time in this marine fish. When the Korean rockfish was exposed to explosive noise stress, the GR mRNA was expressed more in the gonads than in other tissues tested and was elevated significantly from two and four times in the liver and gills, respectively, after noise exposure.

**Key words** : Noise Stress, hematological parameters, cortisol, Korean Rockfish (*Sebastes schlegeli*), glucocorticoid receptor mRNA

## 서 론

최근 해양 활동의 현저한 증가로 다양한 인위적인 소음이 증가하여 어류가 수중에서 생활 하는데 방해를 받아 스트레스 반응을 나타낸다(Gu and Choi, 2006). 이러한 스트레스를 받은 어류는 스트레스 상황을 인지함과 동시에 cortisol을 분비한다(Sturmhofel and Bartke, 1998). 분비된 cortisol은 glucocorticoid 호르몬의 일종으로 혈액을 통해 조직 내로 들어가 조직 내의 glucocorticoid receptor (GR)와 결합하여 조직 내의 glycogen을 분해하여 glucose를 혈액 내로 방출하며 이를 에너지원으로 사용, 스트레스 상황에

대처함으로 항상성을 되찾게 되므로 cortisol과 결합하는 GR mRNA를 정량하면 스트레스에 따라 유전자수준에서 어류가 얼마만큼 생리학적으로 스트레스 내성에 대하여 활성 되었는지 알 수 있다(Bonga, 1997). 지금까지 소음에 관한 국내연구로는 양식 가물치의 행동에 미치는 파일작업 소음의 영향(Shin, 1995), 양식 향어의 행동에 미치는 발파작업 소음의 영향(Shin, 2000) 등이 있고 국외연구에는 소음에 노출된 goldfish의 스트레스 반응과 청각손실에 관한 연구(Smith *et al.*, 2004), seismic airgun 소음이 민물어류인 *Esox lucius*, *Coregonus nasus* 및 *Couesius plumbeus*의 세중에 미치는 영향(Popper *et al.*, 2005) 등으로 국내외적으로 민물어류에 관한 연구가 대부분으로 소음 스트레스가 해산 어류에 미치는 영향은 거의 알려진 바가 없다.

\*교신저자: 한경남 Tel: 82-32-860-8640, Fax: 82-32-862-5236, E-mail: knhan@inha.ac.kr

따라서 본 실험에서는 연안 정착성 해산어류인 조피볼락이 받는 소음의 영향을 혈액학적 지표와 스트레스 지표로 알려져 있는 cortisol 등의 호르몬의 변화를 통하여 알아보고자 하였다. 또 GR mRNA를 분자생물학적 방법으로 정량하여 소음에 노출된 시간에 따른 유전자 수준에서의 변화를 관찰하여 cortisol과의 연관성을 확인하고, GR mRNA의 염기 서열을 밝혀 향후 해산 어류의 스트레스연구에 도움이 되고자 본 실험을 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험조건

조피볼락 (평균체장: 27.1 ± 0.2 cm, 평균체중: 335.9 ± 12.98 g)을 100 L 둥근 플라스틱 수조에서 약 1주일 간 순치시킨 후 실험에 사용하였다. 순치 기간에 체중의 2~10% 생사료를 1일 2회 (08:30, 15:00) 공급하였고 실험 하루 전부터 절식하였다. 실험수조 (길이 3 m, 지름 65 cm, 부피 1.03 m<sup>3</sup>; 한 면에 스피커 장착하여 소음원 발생)에서 소음 노출 실험구 (20마리)와 대조구 (3마리)를 순치시킨 후 실험을 실시하였다. 실험하는 동안 먹이 공급을 하지 않았으며 폭기는 155~165 mL/min 및 DO 6.4~7.3 mg/L로 유지시키면서 지수식으로 관리하였다. 스트레스원으로 시화호 조력발전 건설현장에서 발파 시 발생하는 소음을 수중에서 녹음한 최대치 음압 평균 212 dB/uPa, 충격파 최대음압 음원 준위 254 dB/uPa의 소음을 사용하여 실험하였다. 샘플채취는 소음 스트레스에 노출시킨 직후와 2, 6, 12시간 후에 바로 실시하였으며 총 12시간 동안 실험하였다.

### 2. 혈액학적 제지수

소음에 노출시킨 직후 2-phenoxyethanol (1 : 1000; Sigma, MO)로 마취 후 2분 이내에 20 IU/mL heparin sodium 처리된 주사기 (3 mL-23 G) (BD Diagnostics, UK)로 미병부 혈관에서 채혈하여 즉시 hemoglobin (Hb)과 hematocrit (Ht)을 측정하였고 평균혈구내 헤모글로빈농도 (Mean Corpuscular

Hemoglobin Concentration, MCHC)도 구하였다.

Cortisol 농도는 radio-immunoassay (RIA)로 분석하였고 Glucose는 hexokinase method 을 이용하여 NADH의 흡광도 증가율을 측정하였으며 Albumin 농도는 비색중말법을 이용하여 정량적으로 BCG (Bromocresol green)와 비레 결합을 유도하여 596 nm에서 흡광도를 측정하였다.

### 3. 유전자 염기서열 분석과 정량분석

분자생물학적 분석을 위한 재료는 2-phenoxyethanol (Sigma-Aldrich, MO)로 마취 후 해부하여 눈, 아가미, 간, 장, 생식소 및 피부를 각각 절취하여 RNA later (Sigma-Aldrich, MO)에 담아 분석 전까지 -70°C에서 냉동 보관하였다. 각 조직샘플에 Axygen kit (AxyPrep Multisource Total RNA Miniprep Kit, Axygen, USA)를 사용하여 total RNA를 추출 후 DEPC-treated water로 RNA를 녹이며 BioPhotometer (Eppendorf, Germany)로 정량하고 PrimeScript™ 1st strand cDNA Synthesis Kit (Takara, Japan)를 사용하여 전처리를 한 후 polymerase chain reaction (PCR) (Takara, Japan) 수행을 마치고 사용 전까지 -20°C에 보관하였다.

Regenerative primer는 GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>)에 보고된 경골어류의 GR 유전자의 cDNA를 alignment 한 후 상동성이 높은 부분을 택하여 NetPrimer software (Premier Biosoft International, USA)를 이용하여 다음과 같이 제작하였다.

sense primer 5'-GTC TGC TCT GAC GAG GCT TC  
antisense primer 3'-CTC CTC ACG CTT TAC GAT GG

Table 1. List of vertebrate texon used in this study for the regenerative primers

Species	Gene	GenBank accession no.
<i>Solea senegalensis</i>	β-actin mRNA	GI94537156
<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	β-actin mRNA	GI40362700
<i>Sparus aurata</i>	GR mRNA	GI94540531
<i>Dicentrarchus labrax</i>	GR mRNA	GI48256850
<i>Paralichthys olivaceus</i>	GR mRNA	GI3123740
<i>Astatotilapia burtoni</i>	GR mRNA	GI20563130

Table 2. Primers used in this study

Gene	Oligo name	Sequence (5'→3')	Nucleotide position	Remarks
GR mRNA	RT-F	AAG ATC CGG AGG AAG AAC TG	31~51	ORF amplification
GR mRNA	RT-R	AAA CCT GCA GTC TGA CGA AC	601~621	ORF amplification
GR mRNA	qPCR-F	GGC TCT TCC TCA TGT CCT TC	424~444	Real-time PCR
GR mRNA	qPCR-R	GCT TCA TAC GCT CTT TGT TG	512~532	Real-time PCR
β-actin	RT-F	CAG AAG GAC AGC TAT GTT GG	123~143	ORF amplification
β-actin	RT-R	TGA TCT CCT TCT GCA TCC TG	929~949	ORF amplification
β-actin	qPCR-F	GCC AGA AGG ACA GCT ATG TTG	120~141	Real-time PCR
β-actin	qPCR-R	CAA CTG GGA TGA CAT GGA GA	208~228	Real-time PCR

Primer 제작에 사용된 어류들은 Table 1에 나타내었다. 조피볼락의 GR mRNA를 증폭시키기 위하여 Takara Ex Taq kit의 지시를 따라 PCR을 수행하였다. 반응 생성물의 sequence 분석을 의뢰하여 (Bionics, Korea) 획득한 sequence 정보를 blast 분석하여 GR gene 여부를 확인하였다. 또 정량 분석 시 house keeping 유전자로  $\beta$ -actin 유전자도 병행하여 증폭하였다.

정량 분석은 획득한 부분 sequence에서 유전자 특이적인 증폭을 위하여 real-time PCR primer를 제작하고 (Table 2) LightCycler® 480 SYBR Green 1 Master (Roche, Germany)에 준하여 PCR (LightCycler® 480, Roche, Germany)을 수행하였다.

4. 통계 처리

통계처리는 SPSS 12.0 버전으로 one-way Analysis of Variance (ANOVA) test를 실시하였고 이후 Duncan's multiple range test로 95% 유의수준 내에서 사후 검정하였다.

결 과

1. Hematological parameters

소음 스트레스에 노출 시킨 후 12시간 동안의 Hb의 변화를 Fig. 1a에 나타내었다. 실험 개시 시에는  $6.2 \pm 1.1$  g/dL, 실험 종료 시에는  $6.9 \pm 0.6$  g/dL로 점차 증가하는 경향을 보였지만 대조구와 유의적인 차이를 보이지 않았다 ( $P > 0.05$ ). Ht의 변화 역시 대조구와 유의성은 검정되지 않았지만 Hb와 같이 점차로 증가하는 경향을 나타내었다 ( $P > 0.05$ ) (Fig. 1b). MCHC의 농도 또한 유의적 차이를 나타내지 않았다 ( $P > 0.05$ ) (Fig. 1c).

2. Plasma parameters

Cortisol의 농도 변화를 Fig. 2a에 나타내었다. 소음에 대한 스트레스를 가한 직후의 cortisol의 농도는  $444.5 \pm 38.6$  ng/mL로 대조구 농도  $180.7 \pm 35.3$  ng/mL와 비교하여 유의한 차이를 나타내었다 ( $P < 0.05$ ). 실험 종료 시에는 대조구와 유의차는 인정되지 않았으며 전체적으로 실험 개시 시에 크게 증가하였다가 종료 시 대조구 수준으로 낮아짐을 확인하였다. Glucose 농도는  $97.5 \pm 4.8$  mg/dL로 대조구  $32.5 \pm 6.3$  mg/dL에 비하여 급격하게 증가하였으며 노출 후 경과 시간에 따라 큰 차이를 보이고 있지만 전 구간에서 유의한 차이를 나타내며 전체적으로 증가하였고 cortisol과 비슷한 경향성을 보였다 ( $P < 0.05$ ) (Fig. 2b). 또 albumin 농도는 1.2~1.6 g/dL, 평균  $1.3 \pm 0.2$  g/dL로 대조구 농도 1.27

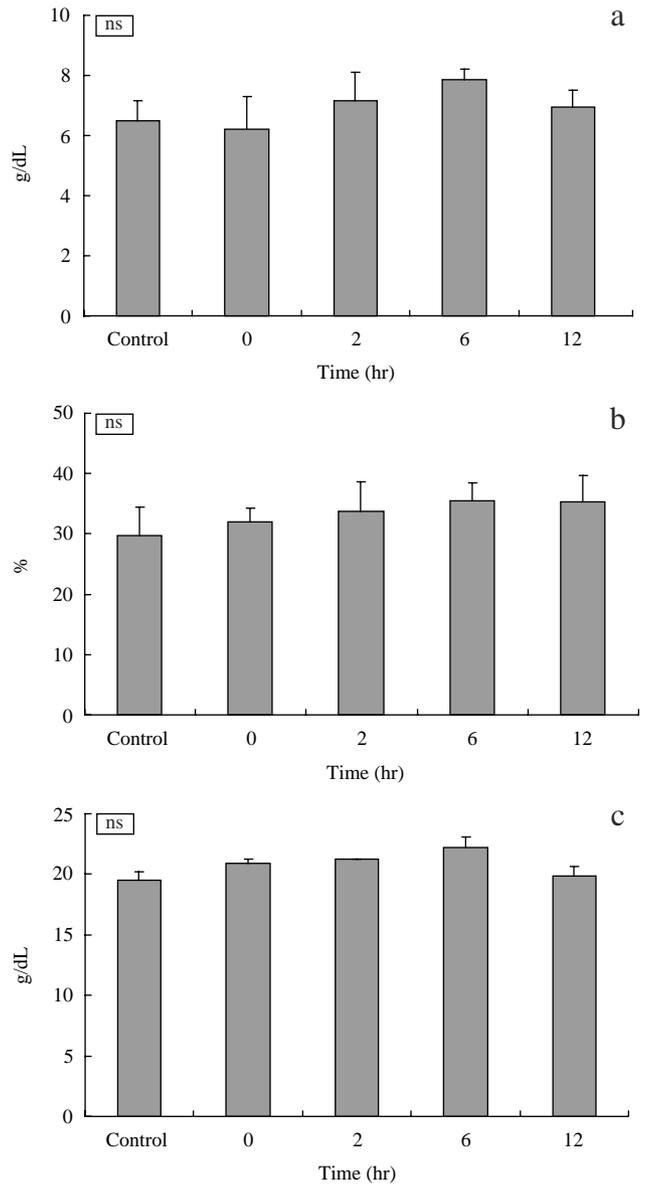


Fig. 1. Hemoglobin, hematocrit and MCHC hematological levels (mean ± SD) in Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. \*Significantly different ( $P < 0.05$ ). <sup>ns</sup>Not significant ( $P > 0.05$ ). a: Hemoglobin, b: Hematocrit and c: MCHC.

$\pm 0.15$  g/dL와 유의차를 보이지 않았다 ( $P > 0.05$ ) (Fig. 2c).

3. Glucocorticoid receptor mRNA 염기서열 분석

조피볼락 GR mRNA의 614 bp의 부분적인 염기서열을 획득하였고 이를 Fig. 3에 나타내었다. Blast 결과 넙치, *Paralichthys olivaceus*, *Dicentrarchus labrax*, *Astatotilapia burtoni*, *Neolamprologus pulcher*, *Porichthys notatus*, *Oncorhynchus mykiss*, 잉어, *Cyprinus carpio*, 제브라피쉬 *Danio rerio*, *Gasterosteus aculeatus* 등과 90% 내외의 상동성을 나타내

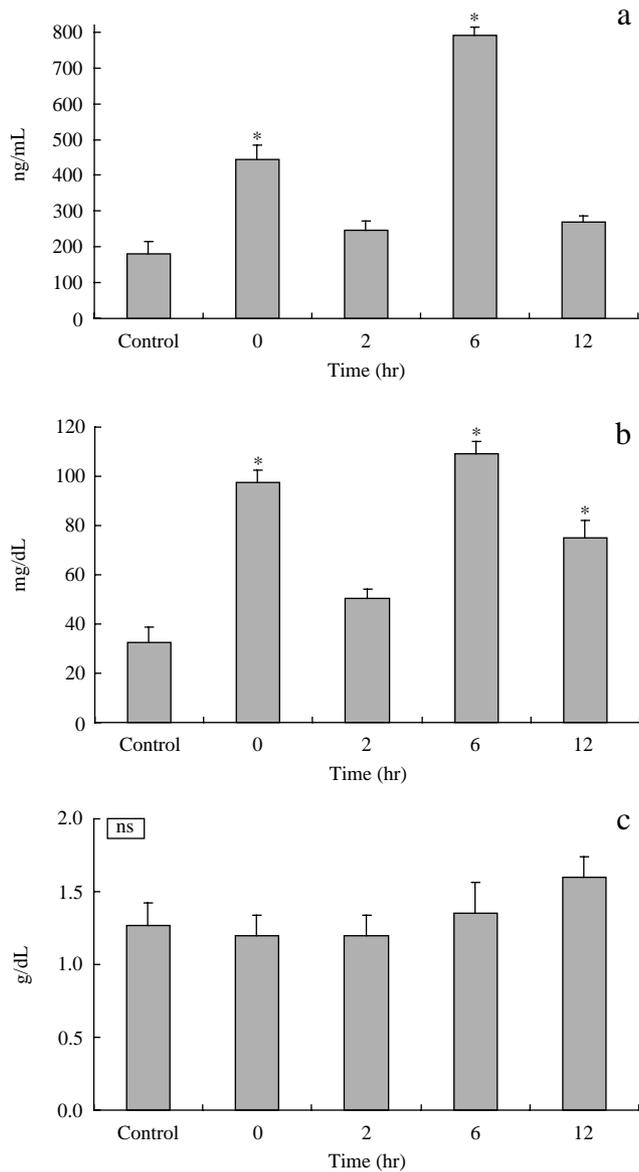


Fig. 2. Plasma cortisol, glucose and albumin plasmatic levels (mean ± SD) in Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. \*Significantly different ( $P < 0.05$ ). <sup>ns</sup>Not significant ( $P > 0.05$ ). a: Cortisol, b: Glucose and c: Albumin.

었다(<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>).

#### 4. 유전자 정량분석

##### 1) Basal levels

실험 결과 생식소, 장, 피부, 눈, 간, 아가미 순으로 GR mRNA가 많이 발현되는 결과를 보였다(Fig. 4a). 생식소에서의 GR mRNA 발현량은 아가미에서 발현량의 약 9배 이상 많은 양이고, 간의 발현량과 비교하면 약 7배 정도 더 많이 발현한 것으로 나타났다. 다음으로 많은 발현량을 보

```

1  TGTGCTGGGAGGAATGACTGCATCATTGATAAGATCCGGAGGAAGAAGCTGCCAGCCTGC
   C A G R N D C I I D K I R R K N C P A C
61  CGCTTCAGGAATGTCTTAAAGCCGGGATGAACTTGAAGCGAGGAAACACAAGAAGCTG
   R F R K C L K A G M N L E A R K H K K L
121  ACCAAGATGAAAGGGGTCCAGCAGAGCAACCCGCCAAGCCCCAAGCATCATGCCTGTT
   T K M K G V Q Q S N P P K P P S I M P V
181  CCAGTCATCCCCAGGCCCATGCCCAACTCGTGCCACCATGTGTCCGTGCTCAAGGCC
   P V I P R P M P Q L V P T M L S V L K A
241  ATCGAGCCAGAGGTCATCTACTCGGGTACGACAGCACGTCGCCGACACCTCCTCGCGG
   I E P E V I Y S G Y D S T L P D T S S R
301  CTCATGAGCACTCTCAACAGGCTGGGGGACAGCAGGTCTCTCTCGAGTCAAGTGGGCC
   L M S T L N R L G G Q Q V I S A V K W A
361  AAGTCACTGCCAGGCTCCGCAACCTGCACCTGGATGACCAGATGACATTGCTGCAGTGC
   K S L P G F R N L H L D D Q M T L L Q C
421  TCCGGCTCTCCTCATGTCTCAGTCTCGGTGGAGTGGTATGAGCAGTGAACCGGT
   S W L F L M S F S L G W R S Y E Q C N G
481  AGCATGTTCTGCTTCGCCCTGATCTCGTCATCAACAAGAGCGTATGAAGTGCCTTC
   S M F C F A P D L V I N K E R M K L P F
541  ATGACCGACAGTGCAGCAGATGCTGAAGATCTGTAATGAGTTCGTCAGATGCAGGTT
   M T D Q C E Q M L K I C N E F V R L Q V
601  TCCCACGACGAG
      S H D E
    
```

Fig. 3. Partial sequence of Korean rockfish, *Sebastes schlegeli* glucocorticoid receptor mRNA.

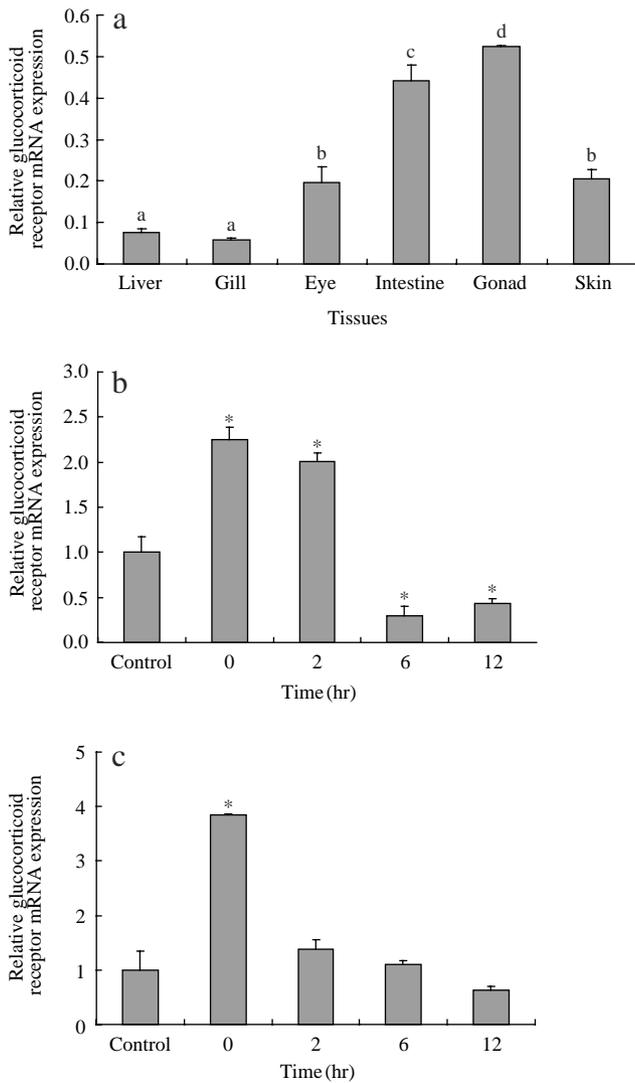
인 조직은 장이며 아가미에 비해 약 7.6배, 간에 비해 약 6 배 많은 발현량을 보였다.

##### 2) 소음 노출에 따른 GR mRNA의 변화

조피블락에서 GR mRNA의 간과 아가미에서의 발현량은 소음에 노출된 직후 대조구와 비교하여 유의적으로 증가하였다( $P < 0.05$ ) (Fig. 4b, c). 간의 GR mRNA의 발현양상은 대조구와 비교하여 유의적인 차이를 보이며 2배 이상 증가하여 2시간 후까지 유지되다가 6시간 이후에는 대조구와 비교하여 1/2 이상 유의적으로 급격하게 낮아짐을 보였다( $P < 0.05$ ). 반면 아가미에서는 노출 직후의 발현양이 대조구와 비교하여 4배 정도로 급격하게 증가하였다가 2시간 후부터는 대조구 수준으로 회복되는 결과를 나타내었다( $P < 0.05$ ).

## 고 찰

증가된 소음 스트레스는 성장률을 감소시키거나, 공격성을 높이고, 섭식률을 저하시키는 등의 잠재적으로 건강을 손상시킬 수 있다고 보고되어 있지만(Wysocki *et al.*, 2007) 본 실험에서는 육안으로 확인할 수 있는 유의한 영향을 보이지 않았다. 다만 청각기관은 시야가 제한되어있는 수중 척추동물에 있어 짝과 먹이를 찾고 포식자로부터 도망가는 등의 생존과 관련된 정보를 제공하는데 최근 선박소음이나 발전소 건설과 같은 인위적인 소음이 증가하고 있어 어류



**Fig. 4.** Basal levels and glucocorticoid receptor mRNA relative expressions in Korean rockfish, *Sebastes schlegelii*. \*Significantly different ( $P < 0.05$ ). <sup>ns</sup>Not significant ( $P > 0.05$ ). a: Basal levels, b: relative GR mRNA expression in liver, c: relative GR mRNA expression in gills.

의 청각에 있어 환경적 압박으로 (Wysocki and Ladich, 2005), 결국에는 어류에게 내분비 스트레스 반응을 불러일으킬 수 있을 것으로 사료된다.

일반적으로 Hb과 Ht는 스트레스로 인해 높은 에너지가 요구되는 동안에 생체의 산소 운반 능력을 나타낸다 (Hur et al., 2001; Ortuno et al. 2001). 본 실험은 Rabanal et al. (2003)의 gilthead sea bream에 저수온과 절식이 미치는 영향 연구, Barcellos et al. (2003)의 수조이동에 따른 급성 스트레스가 수컷 jundia에 미치는 영향 등은 본 실험과 같이 급성 스트레스나 스트레스의 종류와 강도는 같지 않아서 직접 비교는 어렵지만 이와 같이 다양한 스트레스 상황에서 유의적인 차이를 보이지 않아 본 실험결과와 비슷한 결

과를 보였다. MCHC는 한 개의 적혈구 안에 들어 있는 Hb의 백분율 또는 Hb의 평균 농축정도를 나타내는 지표이며 본 실험에서는 유의성을 보이지 않았다.

일반적으로 급성 스트레스에 반응하여 증가한 어류의 혈장 cortisol의 농도는 30~300 ng/mL의 범위를 보이며 스트레스에 노출 후 급격히 분비되어 0.5~1시간 후 가장 높은 증가율을 보이는 것으로 알려져 있으며 (Espelid et al., 1996; Bonga, 1997), 본 실험에서도 cortisol이 급격하게 증가하는 것으로 보아 소음 스트레스가 어류에게 급성 스트레스로 여겨질 수 있다고 보여 진다. 또한 Ortuno et al. (2001)의 보고에 따르면 급성 스트레스에 의해 증가된 혈장 cortisol의 농도는 보통 6~24시간 후 회복된다고 알려져 있으며 본 실험에서는 소음에 노출 된 2시간 후부터 실험 종료 시인 12시간 후까지 혈장 cortisol의 농도가  $270.3 \pm 15.7$  ng/mL로 대조구 수준으로 떨어지지 않은 것으로 보아 소음에 의한 스트레스의 영향이 12시간 내에는 호르몬 수준에서의 회복은 되지 않은 것으로 보여 진다.

혈장 glucose는 스트레스 시 cortisol과 같은 경향성을 보이는데 (Mommensen, 1999; Caruso et al., 2005) 본 실험에서도 혈장 glucose의 농도는 cortisol과 비슷한 경향을 보이며 전 실험구간에서 유의한 차이를 보였다 ( $P < 0.05$ ). 또한 스트레스 받은 어류의 혈액 glucose와 혈장 cortisol 수준은 스트레스 받은 즉시 빠르게 증가하며 각각 1, 2일이면 대조구 수준으로 회복되지만 (Ortuno et al., 2001) 본 실험은 12시간 후 종료하였기 때문에 호르몬 수준의 회복여부는 알 수 없었다.

Rabanal et al. (2003)에 의하면 혈장 albumin은 세포의 영양 단백질의 공급원으로 각종 성분을 결합시키거나 운반, 제거하는 생리학적 기능을 수행하므로 albumin의 감소는 곧 혈액 내 전체 단백질의 감소로 이어져 이 또한 스트레스의 지표가 될 수 있다고 보고하였다. 하지만 본 실험에서 albumin의 결과에는 유의성이 없었는데 Keum et al. (2005)의 Bisphenol A가 조피볼락의 혈액에 미치는 영향 연구에서도 albumin은 1.0~1.1 g/dL의 범위로 본 실험과 주어진 스트레스는 같지 않지만 유사한 결과를 나타내었다.

Glucocorticoids는 여러 조직에 존재하며 삼투조절, glucose 대사 등을 돕는 역할을 하며 (Greenwood et al., 2003; Prunet et al., 2006), 스트레스에 반응하여 생성되며, 스트레스 반응과정, 특히 스트레스에 적응하는 대사과정에서 중요한 역할을 한다 (Mommensen, 1999). 경골어류에서 GR mRNA 조절에 관한 대부분의 연구는 증가된 혈장 cortisol 농도가 GR mRNA 양을 up-regulation한다고 보고하였다 (Milligan, 2003; Sathiyaa and Vijayan 2003). GR mRNA는 다른 경골어류에서는 clone된 적이 있지만 (Greenwood et al., 2003; Acerete et al., 2007) 해산어인 조피볼락에서는 아직 없다.

또한 항상성을 유지하는데 필요한 GR mRNA가 얼마나

발현하는지는 알아보기 위한 실험을 실시하였는데, 이 분야에서 연구가 활발하게 진행된 담수어인 무지개송어와 같은 연어과 어류에서는 간, 아가미 장 조직에서 GR mRNA의 발현양이 현저히 높은 것으로 보고되어있지만(Singer *et al.*, 2007; Vazzana *et al.*, 2008) 해산어를 사용한 본 실험에서는 장과 생식소에서 다른 조직에 비하여 많이 발현되는 결과를 보였다(Fig. 8a). *H. burtoni*에서도 GR mRNA는 심장, 간, 횡장에서 많이 발현하여(Greenwood *et al.*, 2003) 조직마다 다른 발현양상을 보였는데 이는 표적 조직에 따라 혈장 cortisol의 sensitivity가 다르기 때문인 것으로 보인다.

조피볼락에서 GR mRNA의 간과 아가미에서의 발현량은 소음에 노출된 직후 대조구와 비교하여 유의적으로 증가하였다. 간에서의 GR mRNA의 발현양상은 소음에 노출된 후 2시간 까지는 대조구와 비교하여 유의적인 차이를 보이며 2배 이상 증가하였다가 6시간 이후에는 대조구와 비교하여 1/2 이상 유의적으로 낮아짐을 보였다. 스트레스에 노출된 직 후에 높은 값을 보이다가 cortisol이 6시간 후에 급격하게 증가된 것과 관련하여 plasma cortisol과의 관계가 인정되므로(Vijayan *et al.*, 2003) GR mRNA 역시 스트레스 indicator 또는 biomarker로 사용될 수 있다고 사료된다. 반면 아가미에서는 노출 직후 발현량이 대조구에 비하여 4배 정도로 크게 증가하였다가 2시간 후부터는 대조군 수준으로 회복되는 결과를 보였다.

현재까지 GR mRNA 염기서열이 밝혀진 종들은 대부분 담수어종 이므로 본 실험에서는 비록 부분적인 염기서열이지만 해산 어종에 대한 실험 결과이므로 의의를 갖으며, 추후 스트레스의 영향에 관한 연구에 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 사 사

이 논문은 인하대학교 교내 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

## 인 용 문 헌

- Acerete, L., J.C. Balasch, B. Castellana, B. Redruello, N. Roher, A.V. Canario, J.V. Planas, S. MacKenzie and L. Tort. 2007. Cloning of the glucocorticoid receptor (GR) in gilt-head seabream (*Sparus aurata*) Differential expression of GR and immune genes in gilthead seabream after an immune challenge. *Comp. Biochem. Physiol., Part B* 148: 32-43.
- Barcellos, L.J.G., L.C. Kreutz, L.B. Rodrigues, I. Fioreze, R.M. Quevedo, L. Cericato, J. Conrad, A.B. Soso, M. Fagundes, L. de A. Lacerda and S. Terra. 2003. Haematological and biochemical characteristics of male jundia' (*Rhamdia quelen* Quoy & Gaimard Pimelodidae): changes after acute stress. *Aqua. Res.*, 34: 1465-1469.
- Bonga, S.E.W. 1997. The stress response in fish. *Physiological Reviews*, 77: 591-625.
- Caruso, G., L. Genovese, G. Maricchiolo and A. Modica. 2005. Haematological, biochemical and immunological parameters as stress indicators in *Dicentrarchus labrax* and *Sparus aurata* farmed in off-shore cages. *Aqua. International*, 13: 67-73.
- Espelid, S., G.B. Løkken, K. Steiro and J. Bøggwald. 1996. Effects of cortisol and stress on the immune system in Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.). *Fish and Shellfish Immunol.*, 6: 95-110.
- Greenwood, A.K., P.C. Butler, R.B. White, U. Demarco, D. Pearce and R.D. Fernald. 2003. Multiple corticosteroid receptors in a teleost fish: Distinct sequences, expression patterns, and transcriptional activities. *Endocrinol.*, 144: 4226-4236
- Gu, D.S. and B.K. Choi. 2006. The assessment of the fish impact caused by explosion noise. *The Journal of Institute of Marine Industry*, 19: 125-130.
- Hur, S.W., Y.J. Chang, H.K. Lim and B.K. Lee. 2001. Stress responses of cultured fishes elicited by water level reduction in rearing tank and fish transference during selection process. *Korean Fish. Soc.*, 34: 465-472.
- Keum, Y.H., J.H. Jee, O.H. Lee, S.I. Park and J.C. Kang. 2005. In vivo effects of bisphenol a expression on haematological parameters in Korean rockfish, *Sebastes schlegelii*. *Korean Soc. Fish Pathol.*, 18: 293-300.
- Milligan, C.S. 2003. A regulatory role for cortisol in muscle glycogen metabolism in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* Walbaum. *J. Exp. Biol.*, 206: 3167-3173.
- Mommsen, T.P., M.M. Vijayan and T.W. Moon. 1999. Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. *Reviews Fish Biol. Fish.*, 9: 211-268.
- Ortuno, J., M.A. Esteban and J. Meseguer. 2001. Effects of short-term crowding stress on the gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) innate immune response. *Fish and Shellfish Immunol.*, 11: 187-197.
- Popper, A.N., M.E. Smith, P.A. Cott, B.W. Hanna, A.O. McGillivray, M.E. Austin and D.A. Mann. 2005. Effects of exposure to seismic airgun use on hearing of three fish species. *J. Acous. Soc. of America*, 117: 3958-3971.
- Prunet, P., A. Sturm and S. Milla. 2006. Multiple corticosteroid receptors in fish: From old ideas to new concepts. *General Comp. Endocrinol.*, 147: 17-23.
- Rabanal, M.S., J. Sanchez, A. Ibarz, J. Fernandez-Borras, J. Blasco and M.A. Gallardo. 2003. Effects of low temperatures and fasting on hematology and plasma composition of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Fish Physiol. and Biochem.*, 29: 105-115.

- Sathiyaa, R. and M.M. Vijayan. 2003. Autoregulation of glucocorticoid receptor by cortisol in rainbow trout hepatocytes. *American journal of physiology. Cell physiol.*, 284: 1508-1515.
- Shin, H.O. 1995. Effect of the piling work noise on the behavior of Snakehead (*Channa argus*) in the aquafarm. *The Korean Fish. Soc.*, 28: 492-502.
- Shin, H.O. 2000. Effect of dynamite explosion work noise on behavior of Israeli Carp, *Cyprinus carpio* in the cage of aquaculture. *The Korean Fish. Soc.*, 33: 348-355.
- Singer, T.D., S. Raptis, R. Sathiyaa, J.W. Nichols, R.C. Playle and M.M. Vijayan. 2007. Tissue-specific modulation of glucocorticoid receptor expression in response to salinity acclimation in rainbow trout. *Comp. Biochem. Physiol., Part B* 146: 271-278.
- Smith, M.E., A.S. Kane and A.N. Popper. 2004. Noise-induced stress response and hearing loss in goldfish (*Carassius auratus*). *The Journal of Exp. Biol.*, 207: 427-435.
- Sturmhofel, S.H. and A. Bartke. 1998. The endocrine system: An overview. *Alcohol Health & Research World*, 22(3): 153-164.
- Vazzana, M., A. Vizzini, G. Salerno, M.L. Di Bella, M. Celi and N. Parrinello. 2008. Expression of a glucocorticoid receptor (DIGR1) in several tissues of the teleost fish *Dicentrarchus labrax*. *Tissue and Cell*, 40: 89-94.
- Vijayan, M.M., S. Raptis and R. Sathiyaa. 2003. Cortisol treatment affects glucocorticoid receptor and glucocorticoid-responsive genes in the liver of rainbow trout. *General Comp. Endocrinol.*, 132: 256-263.
- Wysocki, L.E. and F. Ladich. 2005. Hearing in Fishes under Noise Conditions. *J. Assoc. Res. Otolaryngol.*, 6: 28-36.
- Wysocki, L.E., J.W. Davidson, M.E. Smith, A.S. Frankel, W.T. Ellison, P.M. Mazik, A.N. Popper and J. Bebak. 2007. Effects of aquaculture production noise on hearing, growth, and disease resistance of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 272: 687-697.