

양식 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 혈액학적 변화 및 생존율에 미치는 염분의 영향

허준욱* · 이정열 · 김용호 · 박인석¹ · 장영진²

군산대학교 해양생명과학부, ¹한국해양대학교 해양환경 · 생명과학부,
²부경대학교 양식학과

Effects of Salinity on Hematological Changes and Survival of Cultured Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*

Jun Wook Hur*, Jeong Yeol Lee, Yong Ho Kim,
In-Seok Park¹ and Young Jin Chang²

School of Marine Life Science, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

¹Department of Marine Environment and Bioscience, Korea Maritime University,
Busan 606-791, Korea

²Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Abstract - We examined the effect of salinity on hematological changes and survival in the cultured olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Fish (mean length: 20.8 cm, mean weight: 96.1 g) were abruptly (within 30 min) exposed to salinities from 15 to 0 psu (Group I, G I) and to 35 psu (Group II, G II). After maintain during days 5, the fish were again changed from 0 to 35 psu (G I) and from 35 to 0 psu. We measured cortisol, glucose, Na⁺, Cl⁻, K⁺, aspartate amino-transferase (AST), and alanine amino-transferase (ALT), hematocrit, RBC, hemoglobin and survival during the 10-days test period. Our results in G I showed that olive flounder exhibit "typical" physiological responses (in cortisol, glucose, Na⁺, Cl⁻, AST and survival) to the stress induced by salinity changes. In G II, olive flounder were significantly different in cortisol, glucose, and AST at 240 hours. The survival in two groups were reduced in 0 psu than 35 psu during the experimental period. This research provides baseline data on cortisol, glucose, Na⁺, K⁺, Cl⁻ and survival for hypo or hyper-salinity changes.

Key words : Olive flounder, stress, salinity, cortisol, glucose

서 론

사육수의 염분변화는 어체의 삼투압 변화를 유도하고,

이때 어류는 변화에 대처하기 위하여, 항상성 (homeostasis) 유지 측면에서 삼투압 조절 (osmoregulation)을 한다. 이러한 환경수의 염분변화에 따라 어류는 일정한 체내 삼투압 유지를 위하여 수분과 세포내 염류 및 영양물질의 농도를 조절하려고 한다 (Morgan 1991). 경골 어류의 삼투압 조절은 아가미, 소화관 및 신장에서 이루어

*Corresponding author: Jun Wook Hur, Tel. 063-469-1834, Fax. 063-469-1834, E-mail. junwhur@hanmail.net

어진다(Maina 1990).

삼투압 조절 기관의 작용에 의해 담수 경골어류의 경우, 수분은 저장(hypotonic)의 환경으로부터 고장(hypertonic)의 어체내로 유입되고, 이온들은 고장의 어체내로부터 저장의 담수 환경으로 유출된다. 해수에 서식하는 경골어류에서는 담수 경골어류와는 반대현상을 나타낸다. 즉, 담수에 서식하는 경골어류는 수분 평형을 위해 물을 마시지 않고, 반대로 해수에 서식하는 어류는 삼투압에 의한 고장의 환경으로 빼앗긴 체내의 물을 보충하기 위하여 해수를 마신다(Kirsch *et al.* 1985). 삼투압 조절 능력이 우수한 어류의 경우, 저염분 환경에서는 고삼투압 조절(hyper-osmoregulation)을 보이며, 고염분 환경에서는 저삼투압 조절(hypo-osmoregulation)을 한다(허와 장 1999).

본 연구에 사용한 *Paralichthys* 속의 넙치류는 광염성 어류로 알려져 있다(Daniels *et al.* 1998; Kelsall and Balment 1998; Atwood *et al.* 2001; Sampaio and Bianchini 2002). 넙치(*Paralichthys olivaceus*)를 사용한 염분변화에 대한 연구는 허 등(2002, 2003a, 2004a)이 해수에서 담수로 사육수를 교환하였을 때 혈액생리학적 변화를 보고하였다. 그 외의 stress와 관련하여, 수온(장 등 2001b), 수심 감소(허 등 2001), 수송(Hur *et al.* 2007; 장 등 2001a; 허 등 2003b, 2004b), 기아(Hur *et al.* 2006 a, b) 및 염분(장과 허 1999; 허와 장 1999)에 대하여 stress 반응이 다른 어종(쥐노래미, *Hexagrammos otakii*, 큰민어, *Nibea japonica*, 송어, *Mugil cephalus*, 틸라피아, *Oreochromis niloticus*)과 비교하여 낮은 stress 반응을 보이는 것으로 보고하였다.

최근 담수화 현상, 연안 해수 오염, 적조 등으로 인하여 지하해수를 이용한 양식이 활발해지고 있으나 저염분 지하수(약 15~20 psu)가 용출되고 있어, 이를 응용하기 위한 기초적 연구는 아직까지 부족한 실정에 있다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 연안에서 가장 많은 양식생산량을 보이고 있는 넙치를 사용하여 저염분(15 psu)에서 장기 사육한후 염분변화에 따른 생리학적 반응 및 생존율을 비교·조사하여, 저염분 지하해수와 담수화 현상에 따른 삼투압 조절과 관련된 생리학적 기초 연구가 되고자한다.

재료 및 방법

1. 실험어류와 시설

실험어는 평균전장 20.8 ± 1.1 cm, 평균체중 96.1 ± 18.6 g인 넙치를 사용하였으며, 경북 울진군 인근 육상수조

양식장에서 사육중인 것을 구입하였다. 이들 실험어는 대형 콘크리트 수조 2개(18 m³)에 수용하여 상업용 터붓사료(수분 10%, 조단백질 56%, 조지방 12%, 조섬유 1.7%, 회분 12%, 인 1.9%, 비타민 A 10,000 IU kg⁻¹, 비타민 D3 1,750 IU kg⁻¹, 비타민 E 200 mg kg⁻¹, 비타민 C 250 mg kg⁻¹, Le Couessant, France)를 반복공급하면서 3주간 안정시킨 다음, 실험에 사용하였다. 유수식 사육시스템인 실험수조를 사용하였으며, 해수(35 psu)는 모래여과후 사용하였고, 담수(0 psu)는 지하수를 사용하였다. 모든 실험수조는 FRP 원형수조(250 L)로 수량은 180 L였다. 실험수조의 1일 환수율은 수용적의 30배, 용존산소량은 5 ppm 이상이 되도록 에어레이션하며 조절하였다. 사육수온은 $22.3 \pm 1.4^\circ\text{C}$ 였다. 실험어의 안정과 도피방지를 위하여 수조상부에 그물망을 덮어 주었다.

2. 실험방법

실험전 30일 동안 15 psu 해수에서 순화시켜 사육하던 어류를 각각 0과 35 psu로 사육수를 교환하여 5일 동안 사육하였다. 이후 다시 0 psu구는 35 psu로 사육수를 교환하였으며(Group I, G I), 35 psu구는 0 psu로 사육수를 교환하여 5일간 유지하였다(Group II, G II). 사육수의 염분 교환은 유입하는 해수와 담수를 조절하여 농도를 맞추어 주었다. 사육수의 염분 교환은 30분이내로 하였다. 실험구는 혈액채취와 생존율 조사그룹으로 구분하여 각각 2반복으로 실시하였다.

3. 혈액의 채취 및 분석

실험어의 혈액은 채혈시각에 맞추어 15 psu 해수에서 실험전, 실험후 3, 6, 24, 120 및 240시간째에 각 실험구에서 5마리씩 무작위 추출하여 20 IU mL⁻¹ heparin sodium (Sterile Solution HEPARIN Inj., Choongwae Pharma Corporation, HwaSung-Gun, Korea) 처리한 3μL-23 G의 일회용 plastic syringe (Dong Shin Medical Instruments Co., KongJu-Si, Korea)로 마취 없이 1분 이내에 미병부의 혈관에서 채혈하였다. 개체별로 채취한 혈액은 1.5 μL Microtube (MCT-175-C, AXYGEN SCIENTIFIC INC., Union City, USA)에 분주하였다. 이중 혈액성상 분석용 시료는 즉시 혈액분석기(Excell 500, USA)로 분석하였으며, 혈장분석용 시료는 5,600 g로 5분 동안 원심분리(Micro Haemtocrit Centrifuge, Hawksley and Sons Ltd., W-Sussex, UK)에 의해 혈장을 추출하여 -70°C 의 초저온냉동고(SW-UF-200, SAMWON Freezing Engineering co., Busan, Korea)에 보관하였다.

혈장 cortisol 농도는 Donaldson(1981)의 방법에 따라

Table 1. Variations of K⁺, AST and ALT in plasma of oliver flounder, *Paralichthys olivaceus* after salinity changes

Elapsed time (hours)	Salinity (psu, G I/II)	K ⁺ (mEq L ⁻¹)		AST (IU L ⁻¹)		ALT (IU L ⁻¹)	
		GI	GII	GI	GII	GI	GII
0	15/15	3.6±0.3	3.6±0.3	11.1±1.0 ^a	11.1±1.0 ^a	3.0±0.1	3.0±0.1
3	0/35	4.7±0.8	3.9±0.2	31.0±4.2 ^b	17.5±0.7 ^{b,*}	4.3±0.6	4.5±0.6
24	0/35	3.1±0.3	3.6±0.4	36.0±2.8 ^b	18.0±2.9 ^{b,*}	6.7±2.9	6.0±1.7
120	0/35	4.4±0.5	3.3±0.7	37.2±1.5 ^b	17.8±1.0 ^{b,*}	5.1±2.0	5.2±1.5
240	35/0	3.1±0.4	4.0±1.2	35.3±1.3 ^b	26.9±1.4 ^{c,*}	4.8±1.3	4.9±1.3

Values are means±SD (n=5) for experiments run on two occasions. Means sharing the same superscripted letter are not significantly different (Duncan's multiple range test P>0.05).

*indicates significant differences between groups at equivalent times (P<0.05). AST: aspartate amino- transferase, ALT: alanine aminotransferase.

Coat-A-Count TKCO Cortisol RIA Kit (DPC, USA)로 항원·항체 반응을 유도한 다음, 1470 WIZARD Automatic Gamma Counter (EG and G Wallac, Finland)를 사용하여 Radioimmunoassay (RIA)에 의해 측정하였다. Glucose, Na⁺, K⁺, Cl⁻, aspartate aminotransferase (AST) 및 alanine aminotransferase (ALT)는 Chemistry System (VITROS DT60 II, VITROS DTE II, DTSC II Chemistry System, Johnson and Johnson Clinical Diagnostics Inc., New York, USA)에 의해 분석하였다.

4. 생존율 및 통계처리

생존율은 매일 폐사 개체수를 파악하여 폐사율을 구하고, 이로부터 생존율을 역산하였다. 각 실험에서 얻어진 자료값 사이의 유의차 유무는 SPSS-통계 패키지 (SPSS 9.0, SPSS Inc., Chicago, USA)에 의한 ANOVA 및 Duncan's multiple range test로 P=0.05 수준으로 검정하였다.

결과 및 고찰

Wedemeyer and Yasutake (1977)는 어류의 혈장 cortisol과 glucose 농도는 stress 지표로 인정된다고 하였다. 일반적으로 catecholamine, adrenocorticotrophic hormone (ACTH) 및 cortisol 농도는 1차 stress 지표로 인정되고, 혈장 glucose, Na⁺, K⁺, Cl⁻, total protein, lactic acid 등은 2차 지표로 인정된다. 3차 stress 지표로는 stress가 장기적으로 지속되면 어류는 생존율, 성장, 면역 및 질병에 대한 감염 능력 등으로 영향을 미치게 된다(허 2002). 이와 같이 stress 관련 연구에서 stress 반응 유무는 어느 한부분의 항목으로 판정할 수 없으며, 여러 가지 항목을 종합하여 추측하여야 한다.

넙치를 사용한 stress 관련 연구에서 이 종은 다른 어종(쥐노래미 및 큰민어)보다는 stress 반응이 낮게 나타

나는 것으로 보고하였다(Hur *et al.* 2007; 장 등, 2001b; 허 등 2001, 2003b). 이는 다른 어류보다 stress시 운동성이 낮고, 생리·생태적으로 stress에 강한 종 특이성의 차이로 설명된다고 보고하였다(Hur *et al.* 2007; 장 등 2001b; 허 등 2001, 2003b).

본 연구에서 실험전 cortisol 값은 4.4 ng mL⁻¹로 다른 연구에서의 실험전 값(안정 값)과 유사하였다(장 등 2001b; 허 등 2001, 2002, 2003b)(Fig. 1). 허(2002)는 넙치가 스트레스를 받지 않은 안정 상태에서 cortisol 농도는 0.3~22.7 ng mL⁻¹(평균 3.9 ng mL⁻¹)로 보고하였다. 이것으로 볼 때, 본 연구에서 cortisol 농도는 실험전 15 psu 염분에서 순응되었음을 추측하여 볼 수 있다. 또한 이 값은 다른 어종에서의 stress 전 안정 값과도 비슷하였다(Barton and Iwama 1991; Pankhurst and Sharples 1992; Carragher and Rees 1994; Bandeen and Leatherland 1997). Pickering and Pottinger (1989)가 연어과 어류에서 제시한 stress를 받지 않는 상태(30~40 ng mL⁻¹) 또는 이상적인 농도(5 ng mL⁻¹)에 비추어 본 연구의 넙치는 또한 이에 유사하였다.

15 psu의 염분으로부터 35 psu로 이동한 G II 실험구의 cortisol 농도는 이동후 120시간째까지 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 120시간후 염분을 0 psu로 이동한 후 240시간째에는 cortisol 농도는 높게 남아 있었다(P<0.05). 그러나 glucose 농도는 cortisol 농도와는 비교되게 3시간 이후부터 실험개시시 값과 유의한 차이를 보였다(Fig. 1). G I 실험구의 cortisol과 glucose 농도는 염분변화후 24시간부터 240시간째까지 높은 값으로 나타났다(P<0.05).

G I구의 cortisol과 glucose 함량은 일반적인 stress 반응을 보여주었다. 일반적으로 glucose는 stress에 의해 증가되며(Olsen *et al.* 1995), stress에 노출될 때 1차 호르몬 반응(cortisol)에 뒤이어 나타나는 2차 반응의 결과라고 하였다(Barton and Iwama 1991). 따라서 G I구에서 높아진 glucose 농도는 염분변화에 따른 어체가 stress를 받

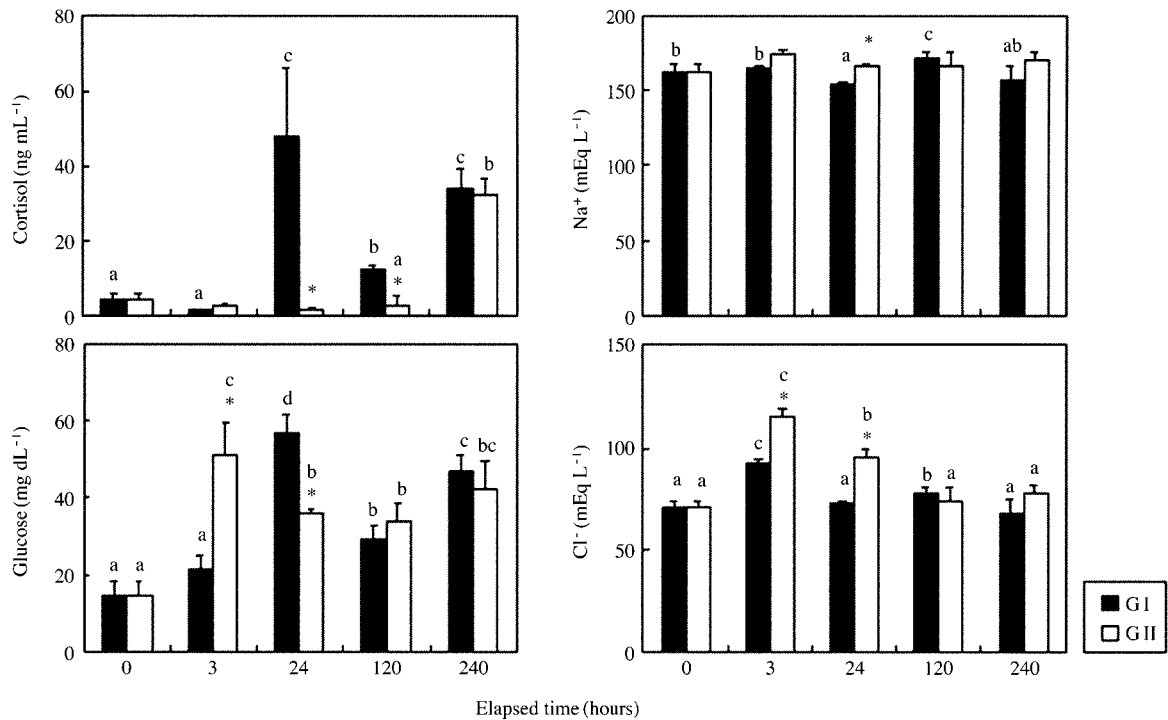


Fig. 1. Variations of plasma cortisol, glucose, Na⁺ and Cl⁻ in olive flounder, *Paralichthys olivaceus* after salinity changes. Values are means of experiments run on three occasions (\pm SD, $n=5$). Shared alphabetic letters on shaded bars indicate lack of significant difference (Duncan's multiple range test $P>0.05$). * indicates significant differences between groups at equivalent times ($P<0.05$).

을 때 분비되는 cortisol의 작용으로 글루코스신생합성을 위한 효소 활성이 높아져 분비량이 증가되는 것으로 보여진다(Davis *et al.* 1985; Barton and Iwama 1991). 더욱이 계속하여 높아진 cortisol과 glucose 농도는 G I구가 누적 stress에 에너지 소비가 많음을 간접적으로 추측하여 볼 수 있다.

Barton and Iwama (1991)는 cortisol과 glucose가 계속하여 높게 남아 있는 것은 누적 stress에 의한 에너지 소비가 많음을 의미한다고 하였다. 또한 cortisol 상승이 오랜 시간 지속되면 생체에 악영향(면역 능력의 감소 등)을 미칠 수 있다고 하였다(Barton and Schreck 1987; Barton and Iwama 1991). G I구의 에너지 소비가 많음을 암시하는 것이 여러 분석항목에서 나타난다. Na⁺, Cl⁻, K⁺ 및 AST 농도에서 0psu로 교환한 후 120시간째에 이들의 값은 G II구보다 더 높은 값을 보여주고 있다. 이는 넙치가 광염성 어류를 증명하며, 저염분에서 고삼투압 조절을 하고 있는 것으로 사료된다. 이와 같은 고삼투압 조절에 대한 연구 결과는 송어, *Mugil cephalus*와 coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*에서 보고하였으며(Young *et al.* 1989; 장과 허 1999), 또한 넙치에서도 보고하였다(허 등 2003). 이는 어체보다 저장성 환경에서 체내의 항상성을 유지하기 위하여, cortisol 감소, Na⁺, K⁺-ATPase

활성 감소, 삼투질 농도 증가 등을 연속적으로 조절하는 것이다. 그러나 G I구에서 계속하여 낮아지는 생존율 결과로 볼 때, 항상성 유지에 대한 고삼투압 조절에 많은 에너지가 소비되고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 G II구에서도 나타났는데 사육수를 다시 교환한 240시간째에 G I구보다 G II구에서 Na⁺, Cl⁻, K⁺가 높게 유지된 것은 저염분에서 고삼투압 조절을 하고 있음을 보여준다. 그러나 G II구도 0psu로 교환한후 생존율이 계속해서 낮아져 에너지 소비가 많음을 추측하여 볼 수 있다.

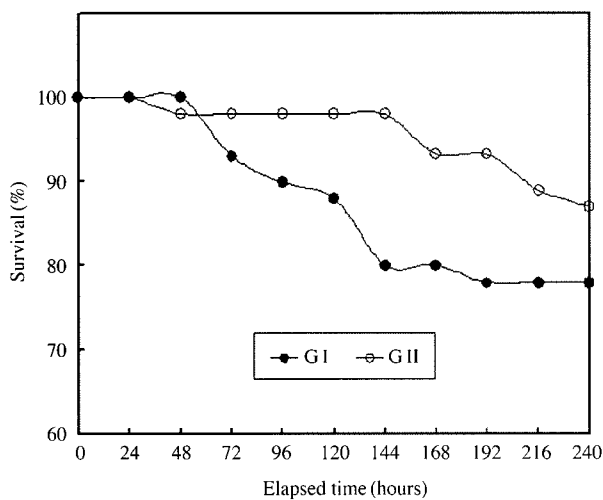
G II구의 경우, 120시간까지 높게 나타난 glucose 농도는 일반적인 stress 반응과는 상반된 결과를 보인다. 이러한 결과는 허 등(2004a) 보고에서 넙치를 사용하여 사육수의 담수화에 따른 반응 결과와 유사하였다. 허 등(2004a)은 채혈시각 차이로 0과 3시간 사이에 cortisol 농도가 증가하였다가 빠르게 회복되었다고 추측하였다. 본 연구에서도 3시간 이전에 cortisol 농도가 증가하였다가 회복되었을 가능성도 있으나, 허 등(2004a)보고에서는 glucose 농도가 24시간째에는 실험개시시와 유의한 차이를 보이지 않아 cortisol이 빠르게 회복된 것으로 보인다. 그러나 본 연구에서는 24시간 및 120시간까지 glucose가 높게 남아 있어 15psu보다는 35psu에서 생체 대사 상승으로 glucose 생성 및 소비속도가 높아지는 것

Table 2. Variations of hematocrit, hemoglobin and RBC in blood of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* after salinity changes

Elapsed time (hours)	Salinity (psu, G I/II)	Hematocrit (%)		Hemoglobin (g dL ⁻¹)		RBC (× 10 ⁶ cell μL ⁻¹)	
		G I	G II	G I	G II	G I	G II
0	15/15	20.4±0.3	20.4±0.3 ^b	10.7±1.5	10.7±1.5	3.3±0.6	3.3±0.6
3	0/35	18.2±4.5	14.9±2.9 ^{a,*}	11.4±1.5	8.7±2.2	3.4±0.8	2.6±0.4
24	0/35	18.2±4.3	17.0±3.0 ^b	11.4±2.0	9.6±2.6	3.5±0.9	2.9±0.4
120	0/35	21.2±1.5	18.2±1.4 ^b	10.6±0.8	10.0±1.0	3.1±0.7	2.9±0.9
240	35/0	20.2±2.0	19.2±1.0 ^b	11.1±2.1	10.3±1.3	3.8±1.0	2.8±0.8

Values are means±SD (n=5) for experiments run on two occasions. Means sharing the same superscripted letter are not significantly different (Duncan's multiple range test P>0.05).

* indicates significant differences between groups at equivalent times (P<0.05). RBC: red blood cell.

**Fig. 2.** Variations of survival in olive flounder, *Paralichthys olivaceus* after salinity changes.

으로 추측하여 볼 수 있다. G II구의 240시간째에 높아진 cortisol과 glucose 농도는 일반적인 stress에 의해 나타나는 결과로 보인다.

Davis and Parker (1990)는 AST와 ALT는 조직의 괴사가 일어나거나, 병적 증상이 나타날 때 활성이 높아져 혈중 농도가 증가하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 ALT보다는 AST 효소가 더 많은 영향을 미친 것으로 나타났다. 또한 다른 항목에서와 같이, G II구보다는 G I구에 많은 영향을 준 것으로 판단된다. Hematocrit, RBC 및 hemoglobin의 증가는 stress에 따른 혈액의 산성화 및 비장의 축소 등으로 나타난다 (Hur *et al.* 2006b, e). 본 연구에서 G II구의 Hematocrit는 차이를 보이나, 다른 항목에서는 차이를 보이지 않아, 혈액 산소수급에는 문제가 없는 것으로 사료된다.

본 연구 결과 15 psu에 적응된 어류를 35 psu로 사육수를 교환시에는 stress 반응이 나타나지 않았으나, 0 psu로 교환시에는 저염분에 대한 고삼투압 조절을 하는 것으로 나타났으나, 생존율 및 stress 반응 등으로 추측하여

볼 때, 많은 에너지를 소비하고 있는 것으로 보여진다.

적 요

30일 동안 15 psu에서 순화 사육한 양식 넙치 (평균전장: 20.8 cm, 평균체중: 96.1 g)를 사용하여 염분변화에 따른 혈액학적 변화 (cortisol, glucose, Na⁺, Cl⁻, K⁺, AST, ALT, hematocrit, RBC, hemoglobin) 및 생존율을 조사하였다. 사육수를 실험개시시 15 psu로부터 0 psu (group I, G I)와 35 psu (group II, G II)로 30분 이내에 교환하였다. 5일 동안 유지하였으며, 다시 사육수를 0 psu로부터 35 psu (G I)와 35 psu에서 0 psu (G II)로 교환하였다. G I구는 cortisol, glucose, Na⁺, Cl⁻, AST 및 생존율 등에서 일반적인 stress 경향을 보였다. G II구는 35 psu에서 0 psu로 교환한 240시간째에 cortisol, glucose 및 AST에서 유의적으로 높아진 값을 보였다. 두 실험구에서 생존율은 35 psu에서보다 0 psu에서 낮아지는 것으로 나타났다. 본 연구 결과 고염분과 저염분변화에 따른 cortisol, glucose, Na⁺, K⁺, Cl⁻ 및 생존율에 대한 기초자료로 유용할 것이다.

참 고 문 헌

- 장영진, 허준욱. 1999. 사육수의 급격한 염분변화에 따른 송어 (*Mugil cephalus*)와 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*)의 생리적 반응. 한국수산학회지. 32:310-316.
- 장영진, 허준욱, 문승현, 이정희. 2001. 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)와 큰민어 (*Nibea japonica*)의 활어 수송시 나타나는 스트레스 반응. 한국양식학회지. 14:57-64.
- 장영진, 허준욱, 임한규, 이종관. 2001. 수온의 급하강과 급상승이 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)와 쥐노래미 (*Hexagrammos otakii*)에 미치는 스트레스. 한국수산학회지. 34:91-97.
- 허준욱. 2002. 인위적 스트레스에 따른 양식어류의 생리학

- 적 반응. 부경대학교 대학원. pp. 196.
- 허준욱, 이복규, 민병화, 박인석, 최철영, 이정열, 장영진. 2004a. 사육수의 담수화시 수용밀도에 따른 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 생리적 반응 비교. 환경생물. 22:419-425.
- 허준욱, 이복규, 장영진, 이종관, 임영수, 이종하, 박철환, 김병기. 2002. 사육수의 저염분변화에 따른 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 스트레스 반응. 한국양식학회지. 15:69-75.
- 허준욱, 장영진, 박인석. 2004. 수송에 따른 양식 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 혈액변화. 해양과학기술논문집. 13:9-14.
- 허준욱, 장영진, 이복규, 이정열. 2003. 저염분에서 사육한 양식 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 생리적 반응, 성장 및 생존율. 한국어류학회지. 15:77-86.
- 허준욱, 장영진, 임한규, 이복규. 2001. 양식어류의 선별과정 중 수심감소와 어류의 수조이동에 따른 스트레스 반응. 한국수산학회지. 34:465-472.
- 허준욱, 장영진. 1999. 사육수의 단계적 염분변화에 따른 송어 (*Mugil cephalus*)와 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*)의 생리적 반응. 한국양식학회지. 12:283-292.
- 허준욱, 최철영, 장영진, W.H. Neill. 2003b. 가두기와 활어수송 스트레스가 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 생리조건에 미치는 영향. 한국양식학회지. 16:135-141.
- Atwood HL, JR Tomasso and TIJ Smith. 2001. Nitrite toxicity to southern flounder, *Paralichthys lethostigma* in fresh and brackish water. J. World Aquacult. Soc., 32:348-351.
- Bandein J and JF Leatherland. 1997. Transportation and handling stress of white suckers raised in cages. Aquacul. Internat. 5:385-396.
- Barton BA and CB Schreck. 1987. Influence of acclimation temperature on interrenal and carbohydrate stress responses in juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). Aquaculture. 62:299-310.
- Barton BA and GK 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.
- Carragher JF and CM Rees. 1994. Primary and secondary stress responses in golden perch, *Macquaria ambigua*. Comp. Biochem. Physiol. 107:49-56.
- Daniels HV and RJ Borski. 1998. Effects of low salinity on growth and survival of Southern flounder (*Paralichthys lethostigma*) larvae and juveniles. In: United States/Japan Natural Resources Aquaculture Symposium: Marine Finfish and Shellfish Aquaculture, Marine Stock Enhancement, and Open Ocean Engineering, Tech. Rep. 26:187-191.
- Davis KB and NC Parker. 1990. Physiological stress in striped bass : effect of acclimation temperature. Aquaculture. 91: 349-358.
- Davis KB, P Torrance, NC Parker and MA Suttle. 1985. Growth, body composition, and hepatic tyrosine aminotransferase activity in cortisol fed channel catfish, *Ictalurus punctatus* Rafinesque. J. Fish Biol. 27:177-184.
- Donaldson EM. 1981. The pituitary-interrenal axis as an indicator of stress in fish. In: Pickering, A.D. (Ed.). Stress in Fish. pp. 11-47. Academic Press, London.
- Hur JW, I-S Park and YJ Chang. 2007. Physiological responses of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* Temminck et Schlegel to a series stress during transportation process. Ichthyol. Res. 54: In Press.
- Hur JW, JH Jo and I-S Park. 2006a. Effects of long-term starvation on hepatocyte ultrastructure of olive flounder *Paralichthys olivaceus*. Ichthyol. Res. 53:306-310.
- Hur JW, SR Woo, JH Jo and I-S Park. 2006b. Effects of starvation on kidney melano-macrophage centre in olive flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel). Aquac. Res. 37: 821-825.
- Kelsall CJ and RJ Balment. 1998. Native urotensins influence cortisol secretion and plasma cortisol concentration in the euryhaline flounder, *Platichthys flesus*. Gen. Comp. Endocrinol. 112:210-219.
- Kirsch R and W Humbert and V Simoneaux. 1985. The gut as an osmoregulatory organ, comparative aspects and special references to fishes. In: Gilles R. and Gilles-Baillien M. (Eds.), Transport Processes, Ion and Osmoregulation. pp. 265-277. Springer Verlag, Berlin.
- Maina JN. 1990. A study of the morphology of the gills of an extreme alkalinity and hyper-osmotic 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. Anatomy and Embryology. 181:83-98.
- Morgan JD and GK Iwama. 1991. Effects of salinity on growth, metabolism, and ion regulation in juvenile rainbow trout and steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) and fall chinook salmon (*Oncorhynchus kisutch*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 48:2083-2094.
- Olsen YA, IE Einarsdottir and KJ Nissen. 1995. Metomidate anaesthesia in Atlantic salmon, *Salmo salar*, prevents plasma cortisol increase during stress. Aquaculture. 134: 155-168.
- Pankhurst NW and DF Sharples. 1992. Effects of capture and confinement on plasma cortisol concentrations in the snapper, *Pagrus auratus*. Aust. J. Mar. Freshwater Res. 43:345-356.
- Pickering AD and TG Pottinger. 1989. Stress responses and disease resistance in salmonid fish: Effects of chronic elevation of plasma cortisol. Fish Physiol. Biochem. 7:253-258.

Sampaio LA and A Bianchini. 2002. Salinity effects on osmoregulation and growth of the euryhaline flounder *Paralichthys orbignyanus*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 269: 187-196.

Wedemeyer GA and WT Yasutake. 1977. Clinical methods for the assessment of the effects of environmental stress on fish health. U.S. Fish and Wildlife Service Technical. pp. 89.

Young G, BTh Bjornsson, P Prunet, RJ Lin and HA 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.

Manuscript Received: August 17, 2006

Revision Accepted: October 17, 2006

Responsible Editor: Ju Chan Kang