

## 수온충격에 따른 금붕어 (*Carassius auratus*)의 혈액 성상 및 생리적 반응

허 준 욱\* · Hamid R. Habibi<sup>1</sup>

군산대학교 해양생명과학부, <sup>1</sup>캘거리대학교 생물과학부

### Physiological Response and Hematological Characteristics of Goldfish (*Carassius auratus*) to Water Temperature Shock

Jun Wook Hur\* and Hamid R. Habibi<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>Department of Biological Sciences, University of Calgary, 2500 University Drive NW,  
Calgary, AB, T2N 1N4 Canada

The effects of sudden changes of water temperature (WT) on the physiological response and hematological characteristics of the goldfish (*Carassius auratus*) were examined by manipulating WT in a flow through freshwater culture system with tanks. The WT was dropped from 15°C to 10°C within 1 hour and then returned to the original water temperature within 12 hours and maintained for 12 hours at the normal WT. The WT stress give continued for 3 days. Plasma levels of cortisol, glucose and lactic acid were higher in stress group than that of non-stressed group until 72 hours. However, The Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, osmolality and aspartate amino-transferase (AST) levels showed no significant differences in two groups. This results in stress group showed that goldfish exhibit "typical" physiological responses (in cortisol, glucose, lactic acid, hematocrit, red blood cell and hemoglobin) to the stress induced by WT changes.

**Key words** : goldfish, *Carassius auratus*, water temperature, stress, cortisol, glucose, lactic acid, blood physiology

#### 서 론

어류의 스트레스(stress) 반응에 대한 생리학적 메커니즘은 교감신경 (sympathetic)과 중추신경 (central nerve)을 통하여 에너지를 동원하게 된다. 그러나 스트레스가 너무 심하거나 반복적으로 받게 되면 어류는 스트레스로 인해 항상성 (homeostasis) 유지 능력을 상실

할 것이며, 3차적으로 나타날 수 있는 생리적 장애, 번식 과정의 혼란, 질병에 대한 저항성 감소 및 성장 둔화로 이어질 것이다 (허, 2002).

스트레스는 어류의 카테콜아민 (catecholamine)과 코티졸 (cortisol)을 과다 분비하는 내분비계를 자극함으로써 비축된 에너지의 빠른 소비를 유발하여 (Barton and Iwama, 1991; Pickering, 1993) 성장을 둔화시키며 (Pickering, 1990), 어류에게 생화학적 측정 항목에 작용을 가함으로써 건강도에 영향을 준다 (Specker and Schreck, 1980). 스트레스에 대하여 어류는 일반적으로 1, 2 및 3

\*Corresponding author: junwhur@hanmail.net

차 반응을 나타내는데, 1차 반응에서는 혈장 (plasma) 카테콜아민과 코르티코스테로이드 (corticosteroid)의 빠른 교환이 일어난다. 이는 스트레스로 인한 긴장상태에 적응하려는 생리적 반응이며, 이 적응반응이 과도하면 어류는 해로운 제2 및 제3차 반응에 당면하게 된다 (Mazeaud *et al.*, 1977). 그러므로 스트레스는 에너지 대사, 성장률 저하, 번식과정의 혼란 (Barton and Iwama, 1991; Wendelaar Bonga, 1997) 및 사망후 육질변성 (Lowe *et al.*, 1993) 등의 유발 요인이 된다.

어류양식에서 사육중인 어류가 받을 수 있는 스트레스는 핸들링 (handling)과 가두기 (confinement) (허 등, 2001b, 2003b), 수송 (장 등, 2001a; 허 등 2003b, 2004b, 2005; Hur *et al.*, 2007) 및 약제투여 (김 등, 2005) 등 인위적 요인과 사육밀도 (Wedemeyer and Mcleay, 1981; 허 등, 2004a), 수질 (Smart, 1981), 수온 (Fryer, 1975; 장 등, 2001b, 2002; 허, 2002), 염분 (Singley and Chavin, 1971; 장과 허, 1999; 허와 장, 1999, 허 등, 2001a, 2004a, 2006) 및 기아 (Hur *et al.*, 2006a, b) 등 환경적 요인을 들 수 있으며, 이들 요인은 어류의 생리적 조건과 성장에 영향을 미치게 된다.

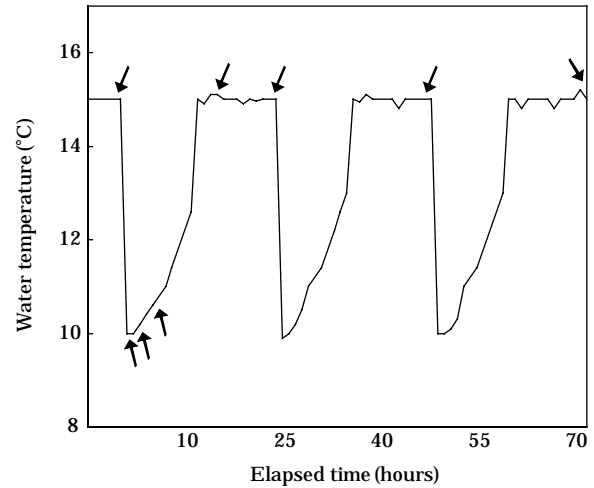
이중 수온은 변온동물 (poikilotherms)의 대사율을 결정하는 환경조절인자이며 (Fry, 1971), 암모니아 배설과 산소소비 (Lyon, 1995), 먹이섭취, 성장 및 생존 (Hahn, 1989; Peck, 1989), 어체의 생리적 변화를 야기시키고 스트레스 요인으로 작용하여 (Davis and Parker, 1990; Barton and Iwama 1991), 대사 (장 등, 2001b)와 혈액성상 (장 등, 2002) 등에 영향을 미친다. 생물에 있어 온도 내성은 광범위하게 적응하는 현상이며, 환경변화에 대한 적응현상으로 각각의 최적 수온을 가지고 있다 (Shamseldin *et al.*, 1997).

본 연구는 금붕어 (*Carassius auratus*)를 사용하여 수온 변화에 따른 스트레스 반응의 기초자료를 얻고자, 수온상승과 하강에 따른 혈액 성상과 생리적 반응을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 조건

수온변화에 따른 금붕어의 혈액 성상 및 생리적 반응을 알아보고자, 양식장에서 사육중인 건강한 어류를 3주 동안 예비 사육하여 안정시킨 다음, 실험수조 (0.73 × 0.73 m, 수심 50 cm)에 무작위로 60마리 (전장: 11 ~ 15 cm, 체중: 20 ~ 45 g)씩 2반복으로 수용하였다. 실험수조는 온수와 냉수의 조절이 가능한 사육시스템이었으며,



**Fig. 1.** Water temperature changes designed with the sudden drop and the sudden rise. Arrows indicate the blood sampling time.

사육수는 설정된 실험수온으로 맞추어 공급하였다. 정상 수온 15°C로부터 급격히 하강시켜 1시간 이내에 10°C로 사육수를 맞추었으며, 이후 자연적으로 수온이 상승하도록 방치하여 12시간만에 수온을 15°C로 회복되게 하여 24시간째까지 유지하였다. 이러한 수온자극을 3일동안 연속적으로 같은 시간에 주었다 (Fig. 1).

### 2. 혈액 샘플 및 분석

실험어의 혈액채취는 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 채혈시각 (0, 1, 3, 6, 12, 24, 48 및 72 h)에 맞추어 실험그룹에서 6마리씩 무작위 추출하여, 각 실험어의 미병부 혈관에서 헤파린을 처리한 주사기를 사용하여 마취없이 1분 이내에 채혈하였다. 또한 혈액의 안정값을 설정하기 위하여 아무런 스트레스를 주지 않은 조건하에서 30마리를 하루 중 3회에 걸쳐 채혈하였다. 개체별로 채취한 혈액은 즉시 젓산 분해 방지 용기와 튜브에 분주하였으며, 이 중 혈액성상 분석용 시료는 혈액 분석기 (Excell 500, USA)로 적혈구용적 (hematocrit), 혈색소농도 (hemoglobin) 및 적혈구수 (red blood cell; RBC)를 측정하였다. 나머지는 원심분리에 의해 혈장을 추출하여 -70°C에 보관하였다.

혈장 cortisol 농도는 Coat-A-Count TKCO Cortisol RIA Kit (DPC, Los Angeles, USA)로 항원·항체반응을 유도한 다음, 1470 WIZARD Automatic Gamma Counter (EG and G Wallac, Turku, Finland)를 사용하여 radioimmunoassay (RIA)에 의해 측정하였다. Glucose, aspartate aminotransferase (AST) 및 alanine aminotransferase (ALT)는 Automatic Chemistry Analyzer (Hitachi

7180, Hitachi, Japan)에 의하여 분석하였으며, 혈장의 삼투질농도 (osmolality)는 Na염의 함유량에 따라 동결점이 다른 것을 응용하여 Micro Osmometer (Fiske 210, Fiske, USA)로 측정하였다.

### 3. 통계 처리

각 실험에서 얻어진 자료 값 사이의 유의차 유무는 SPSS-통계 패키지 (SPSS 9.0, SPSS Inc., Chicago, USA)에 의한 ANOVA 및 Duncan's multiple range test로 검정하였다.

## 결 과

### 1. 혈액의 안정값

금붕어 11~15 cm, 20~45 g 크기에서 혈액의 안정값은

**Table 1.** Rest levels of blood and plasma of goldfish (*Carassius auratus*) at 15.5°C

Stress indicator	Rest levels
Cortisol (ng/mL)	5.5±0.9
Glucose (mg/dL)	26.3±1.2
Lactic acid (mmol/L)	2.3±0.8
Osmolality (mOsm/L)	330.4±8.9
Na <sup>+</sup> (mEq/L)	137.7±6.3
K <sup>+</sup> (mEq/L)	2.6±0.7
Cl <sup>-</sup> (mEq/L)	115.3±7.9
AST (IU/L)	207.2±4.6
ALT (IU/L)	1.6±0.4
Hemoglobin (g/dL)	10.4±1.3
Hematocrit (%)	25.6±2.3
RBC (×10 <sup>6</sup> cell/μL)	2.1±0.9

The values are mean±SD (n=30); ALT: alanine aminotransferase; AST: aspartate aminotransferase; RBC: red blood cell.

**Table 2.** Variations of hematocrit, red blood cell (RBC) and hemoglobin in blood of goldfish (*Carassius auratus*) by sudden changes of water temperature

WT (°C)	Elapsed time (h)	Hematocrit (%)		RBC (×10 <sup>6</sup> cell/μL)		Hemoglobin (g/dL)	
		NS	S	NS	S	NS	S
15	0	24.3±1.2	24.3±1.2 <sup>a</sup>	2.0±0.4	2.0±0.4 <sup>a</sup>	10.3±0.6	10.3±0.6 <sup>a</sup>
10	1	25.8±2.1*	32.8±1.5 <sup>cd</sup>	2.2±0.2	2.7±0.2 <sup>b</sup>	10.9±0.4	13.4±1.0 <sup>c</sup>
11	3	24.7±2.5*	34.8±1.2 <sup>d</sup>	2.5±0.1*	3.0±0.2 <sup>b</sup>	10.5±0.9	13.9±0.3 <sup>c</sup>
12	6	25.0±3.8*	32.5±2.1 <sup>cd</sup>	2.4±0.2*	3.4±0.3 <sup>c</sup>	10.5±0.5*	13.7±0.3 <sup>c</sup>
14	12	27.7±2.6	30.3±1.1 <sup>bc</sup>	2.3±0.4	2.7±0.2 <sup>b</sup>	10.2±1.0	12.2±0.6 <sup>b</sup>
15	24	25.6±3.4	26.5±1.8 <sup>a</sup>	2.4±0.4	2.9±0.2 <sup>b</sup>	10.9±0.8	12.1±0.7 <sup>b</sup>
15	48	25.5±3.1	29.9±0.4 <sup>b</sup>	2.5±0.3	2.7±0.2 <sup>b</sup>	10.9±0.8	12.1±0.7 <sup>b</sup>
15	72	24.6±2.5*	29.5±0.6 <sup>b</sup>	2.5±0.4	2.7±0.3 <sup>b</sup>	10.8±0.6	11.9±0.4 <sup>b</sup>

The values are mean±SD (n=6). Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different (P>0.05).

\*Indicates significant differences between groups at equivalent times (P<0.05)

NS: non-stress group, S: stress group.

Table 1에 나타난 바와 같다. 사육환경 중 수온은 15.5±0.8°C이었으며, 다른 환경 등은 금붕어를 사육하는데 알맞은 조건을 유지하였다. 채혈시 금붕어는 24시간 이전부터 사료를 공급하지 않았으며, 다른 스트레스를 배제시키기 위하여 차광막 등을 설치하였다.

혈장 cortisol 농도는 5.5±0.9ng/mL, glucose는 26.3±1.2 mg/dL, lactic acid은 2.3±0.8 mmol/L로 나타났다. 혈액 성분 중 hemoglobin은 10.4±1.3g/dL, hematocrit는 25.6±2.3%, RBC는 2.1±0.9×10<sup>6</sup>cell/μL로 나타났다.

### 2. 혈액성상의 변화

혈액의 hematocrit, RBC 및 hemoglobin 값은 Table 2에서 보는 것과 같다. 대조구의 hematocrit는 수온변화에 따라 24.3±1.2~27.7±2.6%로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 수온 스트레스 그룹은 실험개시시 24.3±1.2%로부터 수온자극을 준 1시간째부터 유의하게 높아져 3시간째 34.8±1.2%로 가장 높은 값을 보여주었다 (P<0.05).

대조구의 RBC 값은 실험기간동안 유의한 차이를 보이지 않았으며, 스트레스 실험구는 실험개시시 2.0±0.4×10<sup>6</sup> cell/μL로부터 3시간째 3.0±0.2×10<sup>6</sup> cell/μL로 유의하게 높아졌다. Hemoglobin은 hematocrit 및 RBC 값과 유사한 경향으로 대조구는 유의한 차이를 보이지 않았으나, 스트레스 실험구는 실험개시시 1시간째부터 유의하게 높아졌다.

### 3. 혈장성분의 변화

혈장 Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> 및 K<sup>+</sup>의 값은 Table 3에서 보는 것과 같다. Na<sup>+</sup>와 Cl<sup>-</sup> 값은 대조구와 스트레스 실험구에서 실험기간동안 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 K<sup>+</sup> 값

**Table 3.** Variations of Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> and K<sup>+</sup> in plasma of goldfish (*Carassius auratus*) by sudden changes of water temperature

WT (°C)	Elapsed time (h)	Na <sup>+</sup> (mEq/L)		Cl <sup>-</sup> (mEq/L)		K <sup>+</sup> (mEq/L)	
		NS	S	NS	S	NS	S
15	0	141.4±1.1	141.4±1.1	113.9±3.0	113.9±3.0	2.4±0.4	2.4±0.4 <sup>a</sup>
10	1	143.4±3.9	138.9±8.1	116.5±7.7	116.0±6.6	2.6±0.3	3.0±0.3 <sup>ab</sup>
11	3	143.7±5.0	143.9±5.7	112.5±2.7	121.0±7.2	2.5±0.6	2.3±0.4 <sup>a</sup>
12	6	145.8±3.4	141.7±6.1	117.1±1.8	113.0±3.6	2.7±0.1	3.2±0.5 <sup>b</sup>
14	12	141.0±1.1	144.7±3.6	115.8±9.0	113.7±5.7	2.8±0.3	2.7±0.4 <sup>ab</sup>
15	24	144.9±4.5	146.0±2.0	114.5±3.1	117.0±4.6	2.8±0.6	2.8±0.1 <sup>ab</sup>
15	48	142.8±3.8	144.0±4.6	113.6±4.6	114.0±2.6	2.8±0.8	2.6±0.6 <sup>ab</sup>
15	72	142.5±3.3	143.7±4.7	115.2±5.0	113.7±2.1	2.7±0.8	2.5±0.6 <sup>ab</sup>

The values are mean±SD (n=6). Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different (P>0.05). NS: non-stress group, S: stress group.

**Table 4.** Variations of aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT) and osmolality in plasma of goldfish (*Carassius auratus*) by sudden changes of water temperature

WT (°C)	Elapsed time (h)	AST (IU/L)		ALT (IU/L)		Osmolality (mOsm/kg)	
		NS	S	NS	S	NS	S
15	0	215.0±15.5	215.0±15.5	1.6±0.3	1.6±0.3 <sup>a</sup>	327.9±12.8	327.9±12.8
10	1	222.1±8.4	207.3±16.3	2.0±0.6	2.9±0.4 <sup>bc</sup>	329.7±12.7	339.1±16.7
11	3	224.3±9.1	208.7±13.8	2.1±0.5	3.4±0.6 <sup>c</sup>	330.0±11.0	326.7±20.1
12	6	219.3±2.5	210.3±10.3	1.4±0.6*	3.1±0.3 <sup>bc</sup>	330.7±6.7	323.0±18.5
14	12	222.0±8.5	215.3±7.2	2.2±0.4	3.0±0.3 <sup>bc</sup>	328.7±18.1	323.7±21.5
15	24	221.7±8.3	214.3±5.5	2.0±0.3	2.5±0.5 <sup>b</sup>	321.7±16.8	330.3±11.0
15	48	224.7±6.0	206.7±12.5	1.9±0.2	2.5±0.4 <sup>b</sup>	328.3±14.2	334.7±15.8
15	72	223.7±7.5	206.3±12.7	1.9±0.2	2.4±0.4 <sup>b</sup>	327.3±15.8	334.3±16.3

The values are mean±SD (n=6). Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different (P>0.05).

\*Indicates significant differences between groups at equivalent times (P<0.05)

NS: non-stress group, S: stress group.

에서 스트레스 실험구는 실험개시시 2.4±0.4 mEq/L로부터 6시간째 3.2±0.5 mEq/L로 유의하게 높아졌다. 이후에는 실험개시시와 차이를 보이지 않았다.

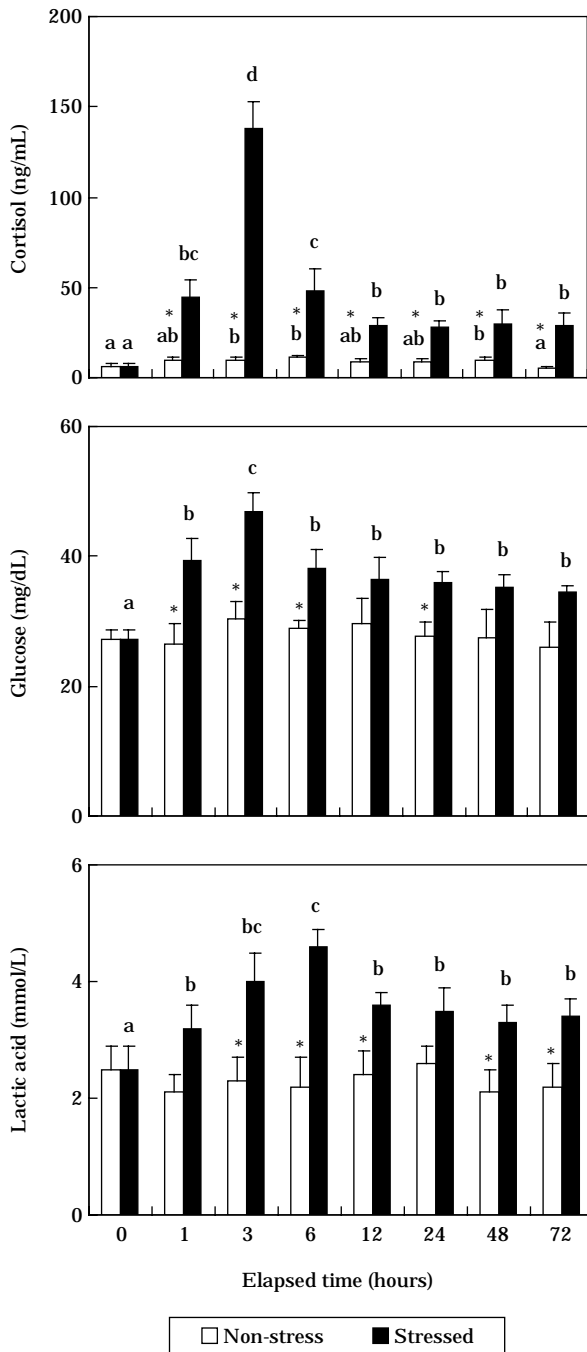
혈장 AST, ALT 및 삼투질농도 값은 Table 4에서 보는 것과 같다. 스트레스 실험구의 ALT 값은 실험개시시 1.6±0.3 IU/L로부터 실험개시시 1시간째에 2.9±0.4 IU/L로 높아졌으며 (P<0.05), 3시간째에는 3.4±0.6 IU/L로 더욱 높아진 값을 보였다. 이후 실험종료시인 72시간째에는 2.4±0.4 IU/L로 높은 값으로 남아있었다. AST와 삼투질농도는 두 실험구에서 실험기간동안 차이를 보이지 않았다 (P>0.05).

혈장 cortisol, glucose 및 lactic acid의 값은 Fig. 2와 같다. 스트레스 실험구의 혈장 cortisol 값은 실험개시시 6.1±1.9 ng/mL로부터 1시간째 44.7±2.0 ng/mL로 유의하게 높아졌으며, 3시간째에는 138.2±14.2 ng/mL로 가장 높아진 값을 보여주었다. 이후 6시간째에는 48.4±12.1 ng/mL로 3시간째보다는 낮아진 값을 보여주었으며, 실험 종료시까지도 실험개시시보다 높은 값으로 남

아있었다 (P<0.05). 대조구는 실험개시시보다 3, 6 및 48 시간째에 유의하게 높은 값을 보였다. 혈장 glucose 함량은 실험구에서 27.2±1.4 mg/dL로부터 1시간째에 39.4±3.3 mg/dL, 3시간째 46.8±3.0 mg/dL로 유의하게 높아졌다. 이후에도 72시간째까지 높은 값으로 남아 있었다 (P<0.05). 대조구는 실험기간동안 차이를 보이지 않았다 (P>0.05). 혈장 lactic acid 농도는 스트레스 실험구에서 6시간째 가장 높은 값인 4.6±0.3 mmol/L로 실험개시시 값인 2.5±0.4 mmol/L와 차이를 보여주었다 (P>0.05). 대조구는 실험기간동안 차이를 보이지 않았다 (P>0.05).

## 고 찰

일반적으로 연어과 어류에서 안정 상태이거나 스트레스를 받지 않은 상태에서의 혈장 cortisol 농도는 30~40 ng/mL이고 (Wedemeyer *et al.*, 1990), 이상적인 것은 5 ng/mL 이하로 알려져 있다 (Pickering and Pottinger,



**Fig. 2.** Variations of cortisol, glucose and lactic acid levels in plasma of goldfish (*Carassius auratus*) by sudden drop of water temperature. The values are mean  $\pm$  SD ( $n=6$ ). Same alphabetic letters on the bars are not significantly different ( $P>0.05$ ). \*Indicates significant differences between groups at equivalent times ( $P<0.05$ )

1989). 또한 허 (2002)는 해산어류인 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)가 스트레스를 받지 않은 안정 상태에서 평균

cortisol은 3.9 ng/mL ( $n=25$ ), glucose는 30.3 mg/dL, lactic acid는 0.5 mmol/L로 보고하였다. 한편 금붕어의 실험개시시 cortisol 값은 6.7 ng/mL로 보고하여 (Bernier *et al.*, 2004), 본 실험의  $6.1 \pm 1.9$  ng/mL와 유사하였다. 이처럼 스트레스를 받지 않은 상태에서의 혈액의 안정 값은 스트레스 후 어류의 생리적 상태를 직접적으로 확인할 수 있는 조건이므로 매우 중요한 자료가 된다. 본 실험에서 혈액의 안정값은 위에서 언급한 연어과와 넙치의 경우와 유사한 값을 보여주었다. 스트레스와 관련된 연구에서 혈액의 안정값은 지금까지 실험개시시 값을 기준으로 하여, 스트레스 후 나타나는 반응이 높고 낮은 것에 따라 스트레스를 많이 받고 적게 받았음을 판별하였다. 그러나 실험개시시 값은 어류의 생리, 생화학 및 환경적 상태에 따라 변동이 심하여, 실험개시시 값과 비교할 수 있는 혈액의 안정값은 필요하다고 사료 된다.

Wedemeyer and Yasutake (1977)는 어류의 혈장 cortisol과 glucose 농도는 스트레스 지표로 인정된다고 하였다. 일반적으로 카테콜아민, 부신피질자극호르몬 (adrenocorticotrophic hormone, ACTH) 및 cortisol 농도는 1차 스트레스 지표로 인정되고, 혈장 glucose,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , 총단백질, lactic acid 등은 2차 지표로 인정된다. 3차 스트레스 지표로는 스트레스가 장기적으로 지속될 때 나타나는 어류의 생존율, 성장, 면역 및 질병에 대한 감염력 등에 영향을 준다 (허, 2002). 이와 같이 스트레스 관련 연구에서 스트레스 반응 유무는 어느 한부분의 항목으로 판정할 수 없으며, 여러 가지 항목을 종합하여 추측하여야 한다.

본 연구에서 스트레스 후 cortisol, glucose 및 lactic acid 농도가 높아지는 경향을 보여 일반적인 스트레스에 따른 반응을 보여주었다. 이는 스트레스를 받을 때 분비되는 cortisol의 작용으로 인하여 글루코스신생합성 (gluconeogenesis)의 효소에 대한 활성이 높아짐에 따라 glucose의 분비량이 증가되기 때문이다 (Davis *et al.*, 1985; Barton and Iwama 1991). 본 연구에서는 대조구에서도 증가가 나타났으나, 그것은 혈액 샘플시 나타나는 핸들링의 영향으로 보여진다. Cortisol을 제외하고, glucose와 lactic acid에서 증가되는 경향을 보이지 않아, 이러한 결과를 추측하여 볼 수 있다.

Barton and Iwama (1991)는 스트레스시 cortisol 값은 어종에 따라 증가속도와 시간이 다르게 나타난다고 하였다. 또한 Pickering and Pottinger (1989)는 연어류에서 급성 스트레스 후 cortisol 농도는 1~3시간 이전에 최고 값으로 증가되고, 회복시간은 6시간 이내였다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서 나타난 cortisol, glucose 및

lactic acid 농도가 6시간 이전에 피크를 나타낸 것은 Pickering and Pottinger (1989) 보고와 일치하였으나, 그 이후 72시간째에 유의하게 높아져 있는 것은 스트레스 반응이 24시간 이후까지도 지속적으로 남아 있는 것으로 보여 진다. 또한 허 등 (2001b)의 넙치를 사용한 연구에서 급성 핸들링 스트레스에 따른 cortisol 값은 6시간 이전에 회복되는 것으로 보고하였는데, 이러한 이유는 넙치와 금붕어의 생태, 생리적 습성으로 추측하여 볼 수 있다. 넙치의 경우, 스트레스시 움직이지 않고 저면에 붙어서 운동성이 떨어지는 반면에, 금붕어는 이러한 행동을 보이지 않고 계속하여 움직이는 습성을 보여, 스트레스에 따른 반응이 지속적으로 나타나고 24시간 이후에도 회복되지 않는 것으로 보여 진다.

한편, 삼투압 조절 측면에서는  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  및 삼투질농도에서 차이를 보이지 않아 항상성 유지에 문제가 없는 것으로 보여 진다. 혈액 인자는 생체의 산소운반 능력을 나타내는 것으로 스트레스시 일반적으로 증가한다 (Davis and Parker, 1990). 따라서 실험구에서 높아진 것은 lactic acid의 증가 경향과 유사한 것으로 판단된다.

본 연구 결과 금붕어는 다른 경골어류의 스트레스 반응과 유사하게 나타났다. 그러나 회복에서는 24시간 이후에도 회복되지 않아 스트레스 반응이 지속적으로 나타나는 것을 알 수 있었다. 일반적으로 연어류의 스트레스시 나타나는 cortisol 농도는 40~200 ng/mL인 것으로 알려지고 있으며, 다른 어종에서는 스트레스시 이보다 더 높게 나타날 수 있다고 하였다 (Pickering and Pottinger, 1989). 이는 어종 및 실험조건이 연구자마다 다르기 때문에 종 특이성, 스트레스 조건의 차이, 실험시 어류의 생리상태 등 여러 가지 요인이 작용하여 다른 어종의 연구결과와 비교하기는 어려울 것 같다. 그러나 본 연구에서 나타난 것과 같이 분명히 금붕어는 수온 스트레스에 민감하게 반응하여 여러 가지 혈액성상 및 생리학적 항목에서 스트레스 반응을 나타냈다.

## 적 요

금붕어 (*Carassius auratus*)를 사용하여 수온변화에 따른 스트레스 반응에 대한 기초자료를 얻고자, 수온상승과 하강에 따른 혈액 성상 및 생리적 반응을 조사하였다. 수온은 15°C로부터 급격하게 하강시켜 1시간이내에 10°C로 사육수를 조절하였으며, 이후 자연적으로 수온이 상승하도록 조절하였다. 12시간째에 수온은 15°C로 회복되어 24시간째까지 유지하였다. 이러한 수온자극 스트레스를 3일 연속하여 주었다. 혈장 cortisol, glucose 및

lactic acid에서 72시간까지 대조구보다 스트레스 실험구에서 유의적으로 높은 값을 보였다. 혈장  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  및 aspartate aminotransferase (AST)는 두 그룹에서 유의적 차이를 보이지 않았다. 본 연구결과 혈장 cortisol, glucose, lactic acid, hematocrit, red blood cell 및 hemoglobin에서 일반적인 스트레스 반응을 보였다.

## 사 사

이 논문은 2005년도 한국학술진흥재단의 해외 Post-doc. 지원 (KRF-2005-214-F00021)에 의하여 연구되었음. 지원을 해주신데 대하여 감사사를 드립니다.

## 인 용 문 헌

- 김재호 · 허준욱 · 박인석 · 고강희 · 장영진. 2005. MS-222와 lidocaine-HCl 농도별 마취에 대한 조피볼락 (*Sebastes schlegelii*)의 혈액생리학적 반응. 한국양식학회지, 18 : 236~244.
- 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. 2001a. 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)와 큰민어 (*Nibea japonica*)의 활어 수송시 나타나는 스트레스 반응. 한국양식학회지, 14 : 57~64.
- 장영진 · 허준욱 · 임한규 · 이종관. 2001b. 수온의 급하강과 급상승이 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)와 쥐노래미 (*Hexagrammos otakii*)에 미치는 스트레스. 한국수산학회지, 34 : 91~97.
- 장영진 · 허준욱 · 진평. 2002. 여름철 온배수 수역에 인접한 양식장 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 혈액 성상. 한국양식학회지, 15 : 267~273.
- 허준욱. 2002. 인위적 스트레스에 따른 양식어류의 생리학적 반응. 부경대학교 대학원, pp 196.
- 허준욱 · 박인석 · 고강희 · 장영진. 2005. 마취 수송에 따른 양식 은어 (*Plecoglossus altivelis*)의 혈액성상 변화. Ocean Polar Res., 27 : 59~65.
- 허준욱 · 이복규 · 민병화 · 박인석 · 최철영 · 이정열 · 장영진. 2004a. 사육수의 담수화시 수용밀도에 따른 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 생리적 반응 비교. 환경생물, 22 : 419~425.
- 허준욱 · 이정열 · 김용호 · 박인석 · 장영진. 2006. 양식 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 혈액학적 변화 및 생존율에 미치는 염분의 영향. 환경생물, 24 : 380~386.
- 허준욱 · 장영진 · 강덕영 · 이복규. 2001a. 순환여과 사육시스템에서 급격한 염분변화에 따른 송어 (*Mugil cephalus*)와

- 틸라피아(*Oreochromis niloticus*) 치어의 아가미 조직과 체성분 변화. 한국수산학회지, 34 : 51~56.
- 허준욱 · 장영진 · 박인석. 2004b. 수송에 따른 양식 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 혈액변화. 해양과학기술논문집, 13 : 9~14.
- 허준욱 · 장영진 · 이복규 · 이정열. 2003a. 저염분에서 사육한 양식 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 생리적 반응, 성장 및 생존율. 한국어류학회지, 15 : 77~86.
- 허준욱 · 장영진 · 임항규 · 이복규. 2001b. 양식어류의 선별과 정중 수심감소와 어류의 수조이동에 따른 스트레스 반응. 한국수산학회지, 34 : 465~472.
- 허준욱 · 장영진. 1999. 사육수의 단계적 염분변화에 따른 숭어 (*Mugil cephalus*)와 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*)의 생리적 반응. 한국양식학회지, 12 : 283~292.
- 허준욱 · 최철영 · 장영진 · William H. Neill. 2003b. 가두기와 활어수송 스트레스가 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 생리조건에 미치는 영향. 한국양식학회지, 16 : 135~141.
- 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.
- Bernier, N.J., N. Bedard and R.E. Peter. 2004 Effects of cortisol on food intake, growth, and forebrain neuropeptide Y and corticotropin-releasing factor gene expression in goldfish. General and Comparative Endocrinology 135 : 230~240.
- Davis, K.B. and N.C. Parker. 1990. Physiological stress in striped bass: effect of acclimation temperature. Aquaculture, 91 : 349~358.
- Davis, K.B., P. Torrance., N.C. Parker and M.A. Suttle. 1985. Growth, body composition, and hepatic tyrosine aminotransferase activity in cortisol fed channel catfish, *Ictalurus punctatus* Rafinesque. J. Fish Biol., 27 : 177~184.
- Fry, F.E.J. 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish. In: Fish Physiology, VOL.9, W.S. Hoar and D.J. Randall, ed, Academic Press, New York, 1~98.
- Fryer, J.N. 1975. Stress and adrenocorticosteroid dynamics in the goldfish, *Carassius auratus*. Can. J. Zool., 53 : 1011~1020.
- Hahn, K.O. 1989. Handbook of Culture of Abalone and Other Marine Gastropods. CRC Press. Boca Raton, FL., 348 pp.
- Hur, J.W., I.-S. Park and Y.J. Chang. 2007. Physiological responses of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*, to a series stress during transportation process. Ichthyol. Res., 54 : 32~37.
- Hur, J.W., J.H. 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, J.W., S.R. Woo, J.H. 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.
- Lowe, T.E., J.M. Ryder, J.F. Carragher and R.M.G. Wells. 1993. Flesh quality in snapper, *Pagrus auratus*, affected by capture stress. J. Food Sci., 58 : 770~773.
- Lyon, G. 1995. Aspects of the physiology of the South African abalone *Haliotis midae* L., and implications for intensive abalone culture. M. Sc. thesis, Rhodes University. Grahamstown, 85 pp.
- Mazeud M., F. Mazeud 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.
- Peck, L.S. 1989. Feeding, growth and temperature in the ormer, *Haliotis kamtschatkana*. J. Shellfish. Res., 17 : 743~745.
- 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.
- Pickering, A.D. 1990. Stress the suppression of somatic growth in teleost fish. In: Eppler, A., Scanes, C.G., Stetson, M.H. (Eds.), Progress in Comparative Endocrinology. Wiley-Liss, New York, pp. 473~479.
- Pickering, A.D. 1993. Growth and stress in fish production. Aquaculture, 111 : 51~63.
- Shamseldin, A.A., J.S. Clegg, C.S. Friedman, G.N. Cherr and M.C. Pillai. 1997. Induced thermotolerance in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. J. Shellfish. Res., 16 : 487~491.
- Singley, J.A. and W. Chavin. 1971. Cortisol levels of normal goldfish, *Carassius auratus* L., and response to osmotic change. Am. Zool., 11, 653 pp.
- Smart, G.R. 1981. Aspects of water quality producing stress in intensive fish culture. pp. 277~293 in A.D. Pickering.
- Specker, J.L. and C.B. Schreck. 1980. Stress response to transportation and fitness for marine survival in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) smolts. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37 : 765~769.
- 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, pp. 247~275.
- Wedemeyer, G.A., B.A. Barton and D.J. McLeay. 1990. Stress and acclimation. In: Schreck, C.B., Moyle, P.B.

- (eds.) Methods for fish biology. American Fisheries Society, Bethesda, MD, pp. 451~489.
- 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 89 pp.
- Wendelaar Bonga, S.E. 1997. The stress response in fish. *Physiol. Rev.*, 77 : 591~625.
- 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, 89 pp.

Received : March 14, 2007

Accepted : May 28, 2007