

수온의 급하강과 급상승이 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)와 쥐노래미 (*Hexagrammos otakii*)에 미치는 스트레스

장영진⁺ · 허준욱 · 임한규* · 이증관*
부경대학교 수산과학대학 양식학과, *국립수산진흥원 울진수산증묘시험장

Stress in Olive Flounder (*Paralichthys olivaceus*) and Fat Cod (*Hexagrammos otakii*) by the Sudden Drop and Rise of Water Temperature

Young Jin CHANG⁺, Jun Wook HUR, Han Kyu LIM*
and Jong Kwan LEE*

Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea
*Uljin Marine Hatchery, National Fisheries Research and Development Institute,
Uljin 767-860, Korea

The effects of sudden changes of water temperature (WT) on the stress response and physiological change of the cultured olive flounder in large (FL) and small (FS) size, and fat cod (FC) were examined by manipulating WT (2 types) in a flow through seawater culture system with 6 tanks (water vol. 270 L/tank). The WT was decreased from 20°C to 10°C within 5 hours (2°C/hour) and maintained at 10°C for 21 hours (Exp. I), and it was raised from 20°C to 30°C within 5 hours and maintained at 30°C for 21 hours (Exp. II). In Exp. I, the levels of blood hematocrit at 5 hours (10°C) in FS was significantly decreased from 13.5±2.0% to 11.3±2.3%, but FC at 2.5 hours (15°C) (19.0±0.3% to 23.2±3.8%) was increased. The blood hemoglobin concentration of all fish in Exp. II was significantly increased until 8 hours after raising WT from 20°C to 30°C. In Exp. I and II, the levels of plasma cortisol in FL, FS and FC was changed from 5.2±8.5 ng/mL, 4.4±4.5 ng/mL and 2.7±0.4 ng/mL, respectively, before sudden drop and rise of WT. The levels of plasma cortisol of in FL (164.0±53.1 ng/mL) and FC (207.9±25.4 ng/mL) were significantly increased by the lowering WT sharply during whole experiment. The FL (12.6±2.0 ng/mL) and FS (4.0±3.9 ng/mL) showed no significant differences in cortisol level according to sudden rise of WT (5 hours). But it in FC (44.7±18.2 ng/mL) was increased. In Exp. I, the plasma glucose levels of all fish groups were decreased after 5 hours (10°C). The plasma lactic acid concentration of FL and FS showed no significant differences until 5 hours after raising WT from 20°C to 30°C. But it in FC was significantly increased with WT raise.

Key words: *Paralichthys olivaceus*, *Hexagrammos otakii*, Sudden water temperature change, Stress, Physiology, Cortisol

서 론

스트레스는 어류의 카테콜아민과 코티졸을 과다분비하는 내분비 반응을 유도함으로써 비축된 에너지원의 빠른 소비를 유발하여 (Barton and Iwama, 1991; Pickering, 1993) 성장을 둔화시킬 수 있으며 (Pickering, 1990), 어체에 생화학적인 작용을 가함으로써 건강도에 영향을 미칠 수 있다 (Specker and Schreck, 1980). 스트레스에 대하여 어체는 일반적으로 1, 2 및 3차의 반응을 나타내는데, 1차 반응에서는 혈중 카테콜아민과 코르티코스테로이드의 빠른 교환이 일어난다. 이는 스트레스로 인한 긴장상태에 적응하려는 어류의 반응이며, 이 적응반응이 과도하면 어체에 해로운 2, 3차 반응으로 이어지게 된다 (Mazeaud et al., 1977). 그러므로 스트레스는 생리활성과 성장률의 저하, 번식과정의 혼란 (Barton and Iwama, 1991; Wendelaar Bonga, 1997) 및 사망후 육질변성 (Lowe et al., 1993)의 유발 요인이 된다. 어류양식에서 사육중인 어체가 주로 받는 스트레스로는 핸들링, 가두기 (confinement), 수송 및 약제투여 등 인위적 요인 (Donaldson, 1981)과 사육밀도 (Wedemeyer and Mcleay, 1981), 수질 (Smart, 1981), 수온 (Fryer,

1975; Chang et al., 1999; Park et al., 1999) 및 염분 (Singley and Chavin, 1971) 등 환경적 요인을 들 수 있으며, 이들 요인은 어류의 생리적 조건과 성장에 영향을 미치게 된다.

여름철 우리나라 동해안에서 발생하는 냉수대로 인한 급격한 수온변화는 어류의 성장과 생존에 영향을 미치는 것으로 알려지고 있다 (Chang et al., 1999). 또한 고수온기인 여름철에 발전소 주변 수역의 수온은 온배수에 의해 더욱 높아질 것으로 예상된다. 국외에서는 수온의 급변이 어체의 생리적 변화를 야기시키고 스트레스 요인으로 작용하여, 생체내 대사와 혈액성상의 변화를 일으키는 것으로 연구된 바 있다 (Barton and Iwama, 1991). 어류는 수온에 의해 성장, 번식, 대사, 삼투압 조절 및 면역 등 생명활동에 큰 영향을 받는다. 따라서, 고수온기인 여름철에 온배수 및 냉수대에 의한 고·저수온 현상은 사육어류의 환경적응을 어렵게 할 것이며, 급격한 수온변화는 성장과 생존을 좌우하는 직접적인 스트레스로 작용할 것이다.

그러므로, 본 연구에서는 넙치와 쥐노래미를 사용하여 수온급변 스트레스 반응에 대한 기초자료를 얻고자, 수온하강과 상승에 따른 생리적 반응을 조사하였다.

⁺ Corresponding author: yjchang@pknu.ac.kr

이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비 (1998-023-H00011)에 의하여 연구되었음.

재료 및 방법

1. 실험 조건

1회성 수온급변에 따른 넙치와 쥐노래미의 스트레스 반응을 알아보고자, 육상수조식 넙치양식장에서 사육중인 건강한 넙치와 울진수산종묘시험장에서 종묘생산하여 사육해 온 쥐노래미를 3주 동안 예비사육하여 안정시킨 다음, 실험수조 (저면적 0.54 m², 수심 50 cm, 사각 FRP 수조)에 무작위로 넙치대 (FL) 20마리 (전장: 28.8±9.4 cm, 체중: 277.4±10.8 g), 넙치소 (FS) 50마리 (전장: 12.6±0.3 cm, 체중: 17.1±0.6 g), 쥐노래미 (FC) 20마리 (전장: 21.1±0.3 cm, 체중: 110.7±5.7 g)씩 2반복으로 수용하였다. 실험수조는 수온조절이 가능한 유수식 사육시스템이었으며, 해수를 1차 모래 여과한 다음, 수온조절 제어시스템 (Hana Com., Korea)에 의해 설정된 실험수온으로 맞추어 공급하였다. 수온조절은 Fig. 1과 같이 시간당 2℃씩 하강·상승하여 5시간 만에 20℃~10℃로 하강 (Exp. I), 20℃~30℃로 상승 (Exp. II)되도록 한 다음, 각각의 하강·상승된 수온으로 21시간 유지하였다. 실험수조의 1일 환수량은 수용적의 32배로 하였고, 용존산소는 5 ppm 이상이 되도록 조절하였다. 또한 실험어의 안정과 도피방지를 위하여 차광막을 설치하였다.

2. 혈액 샘플 및 분석

실험어의 혈액을 채취하기 위하여 채혈시각 (0, 2.5, 5, 8, 14 및 26시간)에 맞추어 24시간 전부터 실험어를 절식시킨 다음, 실험그룹당 넙치대와 쥐노래미는 각각의 수조에서 3마리씩, 넙치소는 8마리씩 무작위 추출하였다. 이후 헤파린을 처리한 주사기를 사용하여 마취없이 1분 이내에 개체별로 미병부의 혈관에서 채혈하였다. 개체별로 채취한 혈액은 즉시 젓산분해방지 용기와 튜브에 분주하였으며, 이중 혈액성상 분석용 시료는 혈액 분석기 (Excell 500, USA)로 적혈구용적 (hematocrit; Ht), 적혈구수 (red blood cell; RBC), 혈색소농도 (hemoglobin; Hb), 평균적혈구혈구용적

(mean corpuscular volume; MCV) 평균적혈구혈색소량 (mean corpuscular hemoglobin; MCH) 및 평균적혈구혈색소농도 (mean corpuscular hemoglobin concentration; MCHC)를 측정하였다. 나머지 혈액은 상온에서 20분간 방치한 뒤, 원심분리 (5,600×g, 5분)에 의해 혈장을 추출하여 -70℃에 보관하면서 코티졸과 글루코스 등의 분석에 사용하였다.

모든 실험에서 코티졸 농도는 cortisol RIA kit (DSL, USA)를 사용하여 항원·항체반응을 유도한 다음, Wizard 1470 γ -counter (Hewlett Packard, USA)를 사용하여 radioimmunoassay (RIA)로 분석하였다. 혈장의 젓산, 글루코스, 삼투질 농도 (osmolality), aspartate aminotransferase (AST) 및 alanine aminotransferase (ALT) 등을 조사하였다. 삼투질 농도는 Na염의 함유량에 따라 동결점이 다른 것을 응용하여 Micro Osmometer (3MO, USA)를 사용하여 측정하였고, 젓산, 글루코스, AST 및 ALT는 건식생화학 분석기 (Kodak, USA)로 분석하였다.

3. 통계 처리

각 실험에서 얻어진 자료값 사이의 유의차 유무는 SPSS-통계 패키지에 의한 ANOVA 및 Duncan's multiple range test로 판정하였다.

결 과

1. 혈액학적 요인

수온을 20℃로부터 10℃로 급격하게 낮춘 Exp. I에서 실험어의 Ht는 넙치대에서 11.6±0.2~15.5±0.1%, 넙치소 9.0±0.4~13.5±2.0%였다. 쥐노래미는 18.3±3.6~23.2±3.8%의 범위로써 2.5시간째 유의하게 높았으나, 이후 차이를 보이지 않았다. 그러나 넙치대는 수온하강에 따른 유의한 차이가 없었으나, 넙치소는 실험종료시까지 계속 낮아지는 경향을 보였다. RBC의 경우, 넙치에서는 큰 변화가 없었으나, 쥐노래미에서는 실험개시시 1.8±0.1×10⁶ cell/ μ L에서 2.5시간째에 2.2±0.3×10⁶ cell/ μ L로 유의하게 많아졌다가 이후 차이를 보이지 않았다. 쥐노래미의 Hb은 2.5시간째에 실험개시시와 차이를 보였으나 (P<0.05), 이후부터는 차이를 나타내지 않았다 (Table 1).

수온을 20℃로부터 30℃로 급격하게 높인 Exp. II에서 넙치대의 Ht는 실험개시시 12.9±1.2%였던 것이 2.5시간에 16.2±6.6%로 높아졌고, 이후 14시간까지도 17.6±1.5%로 실험개시시와 차이를 보였으나 (P<0.05), 실험종료시인 26시간째에는 15.3±0.1%로 실험개시시의 수준으로 안정되었다 (Table 2). 그러나, 쥐노래미에서는 실험개시시 18.3±3.7%였던 것이 25℃인 2.5시간째에 23.0±2.5%, 30℃로 올린 5시간째에 32.6±3.2%, 8시간째에 29.2±1.8%로 높아졌다. 한편 RBC는 넙치대에서 실험개시시 2.3±0.1×10⁶ cell/ μ L였던 것이 수온이 30℃로 상승하였을 때 3.7±0.2×10⁶ cell/ μ L로 증가하여 가장 높은 값을 나타냈다. 그러나 넙치소에서는 변화를 보이지 않았으나, 쥐노래미에서는 실험개시시 2.0±0.4×10⁶ cell/ μ L로부터 30℃로 상승후 3시간째에 2.4±0.2×10⁶ cell/ μ L로 높아져 차이를

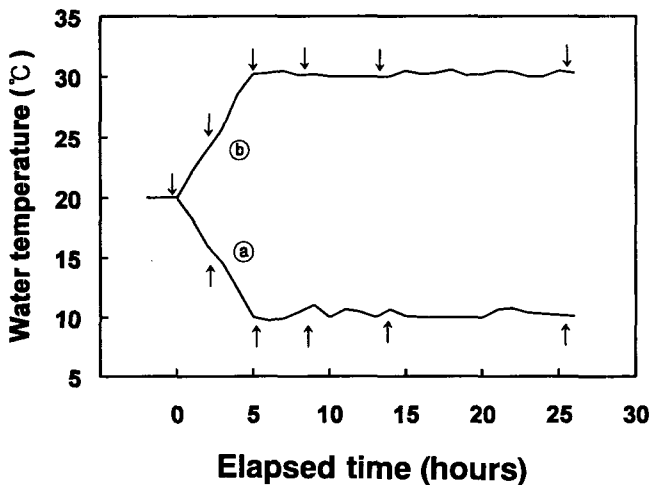


Fig. 1. Water temperature changes designed with the sudden drop and the sudden rise. Arrows indicate the blood sampling time. (a): Exp. I, (b): Exp. II.

Table 1. Hematological factors of olive flounder and fat cod by the sudden drop of water temperature (Exp. I)

WT (°C)	Elapsed time (hour)	Ht (%)			RBC ($\times 10^6$ cell/ μ L)			Hb (g/dL)		
		FL	FS	FC	FL	FS	FC	FL	FS	FC
20	0	11.6 \pm 0.2 ^a	13.5 \pm 2.0 ^b	19.0 \pm 0.3 ^a	2.1 \pm 0.2 ^a	2.1 \pm 0.3 ^b	1.8 \pm 0.1 ^a	12.0 \pm 0.8 ^a	13.7 \pm 2.0 ^c	16.3 \pm 3.0 ^a
15	2.5	14.4 \pm 2.1 ^a	10.6 \pm 0.1 ^a	23.2 \pm 3.8 ^b	2.4 \pm 0.3 ^a	1.8 \pm 0.0 ^{ab}	2.2 \pm 0.3 ^b	13.2 \pm 0.2 ^a	12.2 \pm 0.3 ^{bc}	21.2 \pm 2.9 ^b
10	5.0	NT	11.3 \pm 2.3 ^a	20.0 \pm 4.6 ^{ab}	NT	1.9 \pm 0.2 ^{ab}	1.9 \pm 0.3 ^{ab}	NT	13.3 \pm 0.8 ^c	15.9 \pm 1.9 ^a
10	8.0	12.9 \pm 2.5 ^a	9.0 \pm 0.4 ^a	19.9 \pm 1.3 ^{ab}	2.4 \pm 0.2 ^a	1.7 \pm 0.1 ^a	2.0 \pm 0.1 ^{ab}	15.0 \pm 0.4 ^a	10.8 \pm 0.8 ^{ab}	17.2 \pm 0.8 ^a
10	14.0	NT	10.2 \pm 1.4 ^a	18.3 \pm 3.6 ^a	NT	1.8 \pm 0.3 ^{ab}	1.8 \pm 0.3 ^a	NT	9.6 \pm 1.3 ^a	14.9 \pm 3.7 ^a
10	26.0	15.5 \pm 0.1 ^a	10.0 \pm 0.3 ^a	21.0 \pm 1.2 ^{ab}	2.9 \pm 0.2 ^a	1.8 \pm 0.0 ^{ab}	2.0 \pm 0.2 ^{ab}	14.2 \pm 0.1 ^a	11.2 \pm 0.5 ^{ab}	15.6 \pm 0.5 ^a

The values are mean \pm SD (FL, FC; n=6, FS; n=16). Means within each column followed by the same alphabetic letter are not significantly different (P>0.05). FL: olive flounder in large size, FS: olive flounder in small size, FC: fat cod. Ht: hematocrit, RBC: red blood cell, Hb: hemoglobin, NT: not tested.

Table 1. Continued

WT (°C)	Elapsed time (hour)	MCV (fl)			MCH (pg)			MCHC (%)		
		FL	FS	FC	FL	FS	FC	FL	FS	FC
20	0	39.0 \pm 2.5 ^a	64.6 \pm 0.8 ^c	103.0 \pm 3.6 ^{bc}	54.3 \pm 6.0 ^a	66.0 \pm 1.7 ^b	90.9 \pm 13.8 ^a	137.0 \pm 7.2 ^a	102.8 \pm 2.6 ^{ab}	88.6 \pm 16.7 ^{ab}
15	2.5	59.9 \pm 2.3 ^b	59.2 \pm 0.4 ^b	107.0 \pm 1.3 ^d	55.5 \pm 5.7 ^a	70.7 \pm 1.9 ^b	99.3 \pm 29.9 ^a	92.8 \pm 13.1 ^{ab}	119.9 \pm 3.2 ^{ab}	92.6 \pm 28.3 ^b
10	5.0	NT	58.7 \pm 5.0 ^b	106.0 \pm 6.0 ^{cd}	NT	69.7 \pm 4.3 ^b	85.7 \pm 7.6 ^a	NT	119.0 \pm 17.6 ^{ab}	80.9 \pm 11.8 ^{ab}
10	8.0	53.1 \pm 6.3 ^{ab}	53.2 \pm 0.7 ^a	99.0 \pm 0.8 ^a	62.1 \pm 4.1 ^a	64.1 \pm 6.6 ^b	85.9 \pm 3.2 ^a	118.0 \pm 23.6 ^b	122.0 \pm 11.7 ^c	87.0 \pm 2.6 ^{ab}
10	14.0	NT	57.2 \pm 0.4 ^{ab}	99.4 \pm 0.6 ^{ab}	NT	53.7 \pm 11.8 ^a	80.2 \pm 3.4 ^a	NT	93.5 \pm 22.8 ^a	80.6 \pm 2.9 ^{ab}
10	26.0	54.0 \pm 4.1 ^{ab}	56.6 \pm 1.2 ^{ab}	106.0 \pm 2.1 ^{cd}	49.5 \pm 4.4 ^a	63.4 \pm 4.0 ^b	79.3 \pm 8.1 ^a	91.5 \pm 1.3 ^a	112.0 \pm 7.1 ^{ab}	74.5 \pm 6.3 ^a

MCV: mean corpuscular volume, MCH: mean corpuscular hemoglobin, MCHC: mean corpuscular.

Table 2. Hematological factors of olive flounder and fat cod by the sudden rise of water temperature (Exp. II)

WT (°C)	Elapsed time (hour)	Ht (%)			RBC ($\times 10^6$ cell/ μ L)			Hb (g/dL)		
		FL	FS	FC	FL	FS	FC	FL	FS	FC
20	0	12.9 \pm 0.3 ^a	10.3 \pm 1.7 ^a	18.3 \pm 3.7 ^a	2.3 \pm 0.1 ^a	2.0 \pm 0.3 ^a	2.0 \pm 0.4 ^a	10.8 \pm 0.2 ^a	11.7 \pm 0.6 ^a	16.2 \pm 3.2 ^a
25	2.5	16.2 \pm 6.6 ^b	13.5 \pm 1.1 ^{bc}	23.0 \pm 2.5 ^b	3.0 \pm 1.1 ^{ab}	2.0 \pm 0.4 ^a	2.3 \pm 0.3 ^{ab}	16.3 \pm 5.3 ^{bc}	12.8 \pm 1.4 ^{ab}	21.1 \pm 2.4 ^b
30	5.0	20.6 \pm 0.5 ^b	13.1 \pm 2.2 ^{bc}	32.6 \pm 3.2 ^c	3.7 \pm 0.2 ^b	2.3 \pm 0.2 ^a	2.3 \pm 0.1 ^b	19.5 \pm 0.5 ^c	13.3 \pm 0.9 ^{ab}	20.7 \pm 2.2 ^b
30	8.0	18.6 \pm 1.9 ^b	13.7 \pm 0.9 ^c	29.2 \pm 1.8 ^d	3.1 \pm 0.5 ^{ab}	2.3 \pm 0.1 ^a	2.4 \pm 0.2 ^b	16.5 \pm 2.2 ^{bc}	14.7 \pm 1.9 ^c	22.8 \pm 0.8 ^b
30	14.0	17.6 \pm 1.5 ^b	11.5 \pm 1.8 ^{ab}	D	2.9 \pm 0.1 ^{ab}	2.0 \pm 0.4 ^a	D	20.4 \pm 2.6 ^c	13.6 \pm 1.4 ^{bc}	D
30	26.0	15.3 \pm 0.1 ^{ab}	12.9 \pm 2.6 ^{bc}	D	2.4 \pm 0.1 ^a	2.2 \pm 0.4 ^a	D	12.9 \pm 0.6 ^{ab}	11.9 \pm 1.1 ^a	D

The values are mean \pm SD (FL, FC; n=6, FS; n=16). Means within each column followed by the same alphabetic letter are not significantly different (P>0.05). FL, FS and FC are same abbreviations as in the Table 1. Ht, RBC and Hb are same abbreviations as in the Table 1. D: dead.

Table 2. Continued

WT (°C)	Elapsed time (hour)	MCV (fl)			MCH (pg)			MCHC (%)		
		FL	FS	FC	FL	FS	FC	FL	FS	FC
20	0	56.8 \pm 1.2 ^{ab}	51.4 \pm 2.9 ^a	93.8 \pm 4.1 ^a	47.3 \pm 0.4 ^a	59.2 \pm 5.1 ^{ab}	83.5 \pm 9.5 ^a	83.3 \pm 1.9 ^a	115.8 \pm 13.2 ^{bc}	88.9 \pm 8.7 ^a
25	2.5	53.5 \pm 3.4 ^a	70.2 \pm 20.8 ^c	102.0 \pm 9.4 ^a	56.1 \pm 10.1 ^a	65.7 \pm 16.8 ^{ab}	94.0 \pm 8.8 ^b	105.0 \pm 22.1 ^{bc}	95.0 \pm 10.8 ^{ab}	92.1 \pm 5.5 ^c
30	5.0	56.0 \pm 2.6 ^{ab}	57.5 \pm 5.2 ^{bc}	142.0 \pm 10.8 ^c	53.1 \pm 2.4 ^a	59.1 \pm 5.5 ^{ab}	90.5 \pm 9.5 ^{ab}	95.0 \pm 4.3 ^{ab}	103.8 \pm 16.1 ^{abc}	64.0 \pm 8.7 ^a
30	8.0	59.7 \pm 4.2 ^{bc}	59.4 \pm 0.9 ^{bc}	123.0 \pm 1.6 ^b	52.9 \pm 2.0 ^a	64.2 \pm 10.1 ^{ab}	95.8 \pm 7.4 ^b	88.9 \pm 3.6 ^{ab}	108.0 \pm 17.6 ^{abc}	78.1 \pm 5.7 ^b
30	14.0	59.8 \pm 3.7 ^{bc}	56.7 \pm 2.2 ^{bc}	D	69.3 \pm 7.2 ^b	68.9 \pm 12.7 ^c	D	116.0 \pm 9.7 ^c	121.1 \pm 19.6 ^c	D
30	26.0	64.4 \pm 3.9 ^c	58.9 \pm 8.2 ^{bc}	D	54.6 \pm 5.3 ^a	55.1 \pm 7.7 ^a	D	84.6 \pm 3.3 ^a	94.1 \pm 11.3 ^a	D

MCV, MCH and MCHC are same abbreviations as in the Table 1.

보였다 ($P < 0.05$). MCV는 넙치와 쥐노래미에서 수온 상승에 따라 높아졌으며, 실험종료시까지 개시시 값으로 회복되지 않았다. 넙치소의 MCHC는 실험종료시에 94.1 ± 11.3 g/dL로 실험개시시의 115.8 ± 13.2 g/dL와 유의한 차이를 나타냈다.

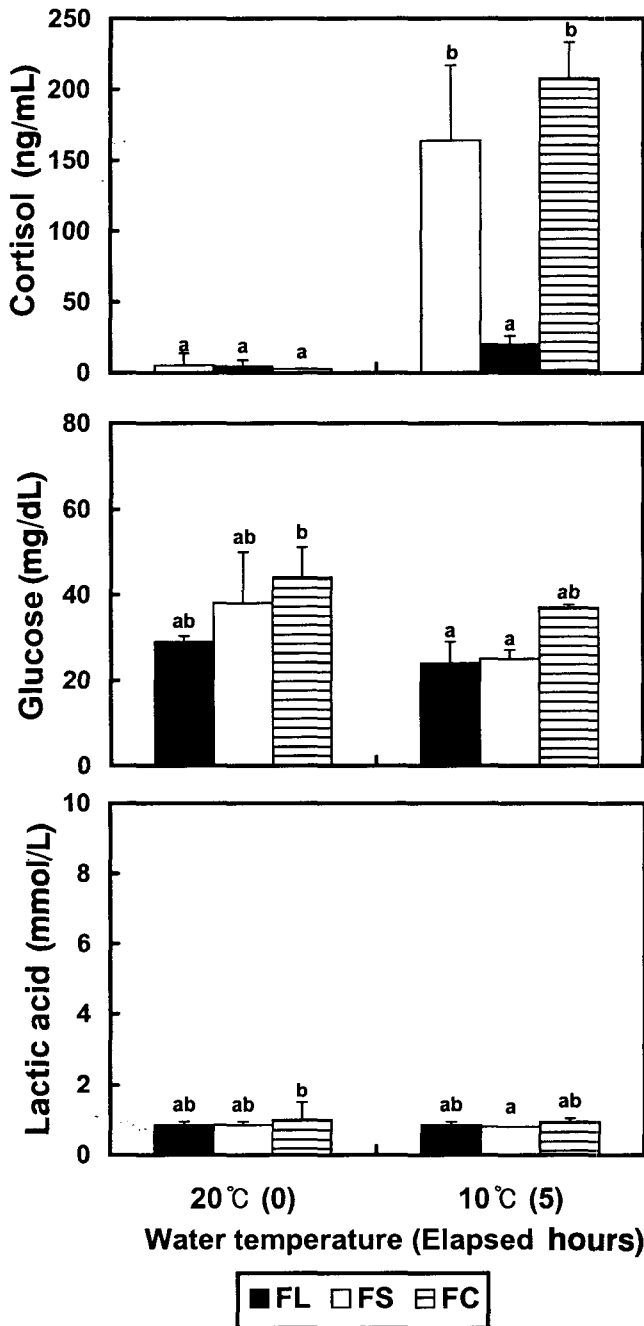


Fig. 2. Variations of cortisol, glucose and lactic acid levels in plasma of olive flounder and fat cod by the sudden drop of water temperature (Exp. I). Same alphabetic letters on the bars are not significantly different ($P > 0.05$). FL, FS and FC are same abbreviations as in the Table 1.

2. 혈장의 코티졸, 글루코스 및 젖산 농도

수온을 20°C로부터 10°C로 급격하게 낮춘 Exp. I에서 실험어의 코티졸, 글루코스 및 젖산의 농도변화는 Fig. 2와 같다. 코티졸 농도는 넙치소에서 $4.0 \pm 3.9 \sim 20.0 \pm 6.2$ ng/mL 범위로 그다지 큰 변화를 보이지 않은 반면, 넙치대와 쥐노래미에서는 실험개시시에 각각 5.2 ± 8.5 ng/mL, 2.7 ± 0.4 ng/mL였던 것이 10°C 하강한 5시간째에 각각 164.0 ± 53.1 ng/mL, 207.9 ± 25.4 ng/mL로 높아져 차이를 나타냈다 ($P < 0.05$). 그러나 글루코스와 젖산의 농도는 모든 어종에서 실험개시시와 차이를 보이지 않았다.

수온을 20°C로부터 30°C로 급격하게 높인 Exp. II에서 실험어의 코티졸, 글루코스 및 젖산의 농도변화는 Fig. 3과 같다. 코티졸 농도는 넙치대·소에서는 Exp. I의 결과와 같이 큰 변화를 나타내지 않았다. 그러나 쥐노래미에서는 실험개시시의 2.7 ± 0.4 ng/mL로부터 44.7 ± 18.2 ng/mL로 높아졌다 ($P < 0.05$). 한편 글루코스 농도는 모든 어종에서 실험개시시 보다 약간 높아졌으나, 유의한 차이를 보이지 않았다. 젖산 농도의 경우, 넙치소에서는 개시시 0.9 ± 0.1 mmol/L, 30°C로 상승한 5시간째에 0.9 ± 0.3 mmol/L로 차이를 보이지 않았으나, 쥐노래미에서는 개시시의 1.0 ± 0.0 mmol/L로부터 5시간째에 5.7 ± 2.3 mmol/L로 6배 가량 높아졌다 ($P < 0.05$).

3. 혈장의 삼투질 농도, AST 및 ALT

수온을 20°C로부터 10°C 낮춘 Exp. I에서 실험어의 삼투질 농도, AST 및 ALT 변화는 Table 3과 같다. 넙치대·소의 혈장 삼투질 농도는 실험개시시 각각 449.0 ± 9.9 mOsm/kg, 444.5 ± 26.2 mOsm/kg이었던 것이 10°C에서 395.0 ± 128.5 mOsm/kg, 410.0 ± 18.4 mOsm/kg으로 낮아지는 경향을 보였다. 이러한 삼투질 농도의 감소현상은 쥐노래미에서도 관찰되었다. 그러나 AST는 삼투질 농도 변화와는 달리 모든 어종에서 수온하강에 따라 높은 값을 보였으나 유의한 차이는 없었다 ($P > 0.05$).

수온을 20°C로부터 30°C로 급격하게 높인 Exp. II에서 실험어의 삼투질 농도는 Exp. I의 결과와 반대로 모든 어종에서 실험개시시의 $377.5 \pm 24.8 \sim 449.0 \pm 9.9$ mOsm/kg으로부터 30°C에 $451.0 \pm 24.0 \sim 543.5 \pm 0.7$ mOsm/kg으로 높아졌다 (Table 3). 넙치소에서는 수온상승에 따른 차이가 없었으나, 넙치대와 쥐노래미에서는 유의하게 높아진 삼투질 농도를 보였다. AST는 Exp. I의 결과와 같이 모든 어종에서 수온상승에 따라 높아졌으며, 쥐노래미에서는 개시시의 142.5 ± 10.6 IU/L로부터 30°C의 150.0 ± 25.5 IU/L로 약간 높아진 반면, 넙치대와 넙치소에서는 개시시 각각 274.5 ± 176.1 IU/L, 322.5 ± 129.4 IU/L로부터 442.5 ± 10.6 IU/L, 427.5 ± 10.6 IU/L로 변화하여 쥐노래미에 비하여 높은 값을 나타냈다.

4. 생존율

수온 급하강·상승에 따른 각 실험어의 생존율은 Table 4와 같다. 20°C에서 10°C로 급하강시 넙치와 쥐노래미에서는 폐사 개체가 없었으나, 20°C에서 30°C로 급상승한 Exp. II의 실험에서는 넙치대 90.0%, 넙치소 99.0%로 높은 생존율을 보였으나, 쥐노래미는 실험종료시 전량 폐사하였다.

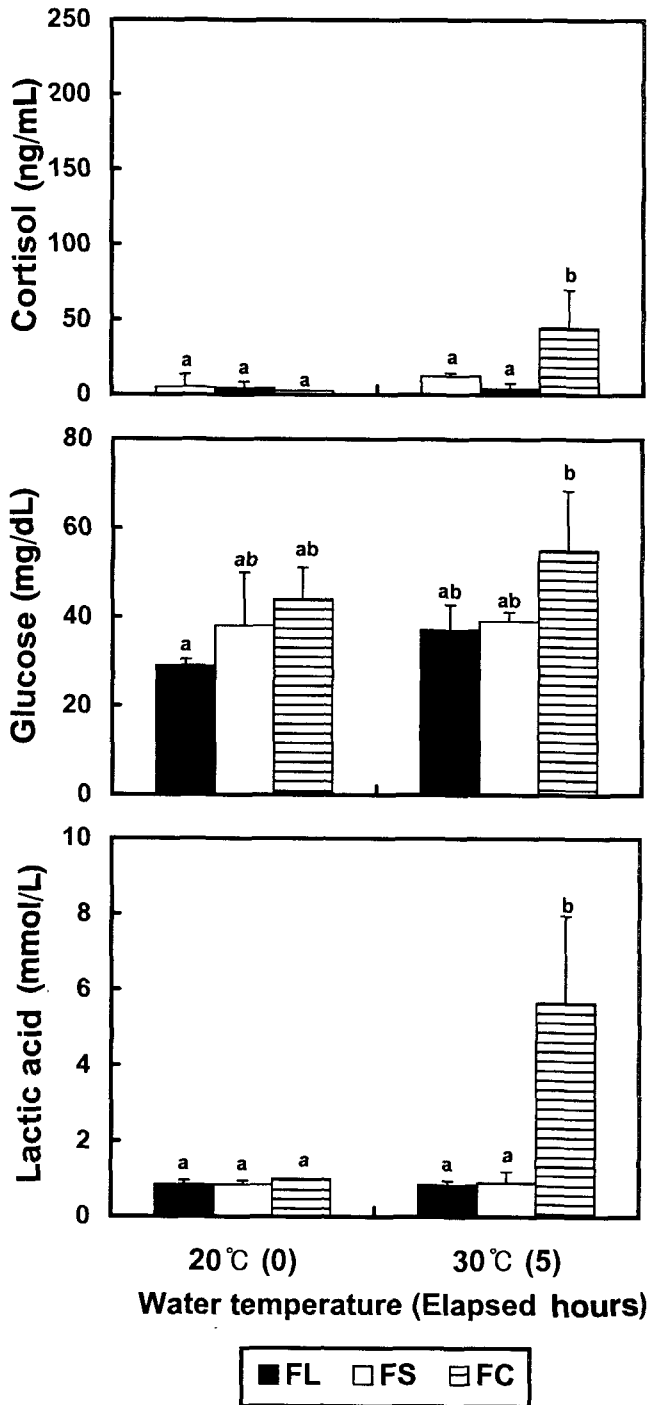


Fig. 3. Variations of cortisol, glucose and lactic acid levels in plasma of olive flounder and fat cod by the sudden rise of water temperature (Exp. II). Same alphabetic letters on the bars are not significantly different ($P > 0.05$). FL, FS and FC are same abbreviations as in the Table 1.

고찰

최근 어류의 스트레스 연구는 스트레스에 대한 반응, 생식능력

및 시상하부-뇌하수체-간신선 축을 통한 대사생리 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 어류는 외부환경의 변화에 따라 어느 정도는 스트레스를 극복할 능력을 가지고 있으나, 임계수준을 넘어선 스트레스는 어체의 생리활성을 떨어뜨림으로써 건강도를 악화시킬 수 있다 (Batton and Iwama, 1991). 어류가 스트레스를 자주 받게 되면 어체는 항상성을 유지하기 어렵게 되므로, 이를 극복하기 위하여 에너지를 요구하게 된다. 이로 인해 체성장과 생명 유지를 위한 대사에 사용되어야 할 에너지가 필요 이상으로 소모되므로, 성장 둔화 및 폐사를 증가를 초래하게 된다 (Batton and Iwama, 1991; Schreck, 1982).

지금까지 국내에서 수온급변 스트레스에 관련된 연구는 Chang et al. (1999)과 Park et al. (1999) 등에 의한 보고가 전부이다. 이들 연구에서 넙치는 1회성 스트레스에 매우 강한 어종으로 알려져 있으며, 적응 능력이 우수한 것으로 보고되었다. 일반적으로 연어과 어류에서 안정상태이거나 스트레스를 받지 않은 상태에서의 혈중 코티졸 수준은 30~40 ng/mL 이고 (Wedemeyer et al., 1990), 이상적인 것은 5 ng/mL 이하로 알려져 있다 (Pickering and Pottinger, 1989). 본 연구에서 실험개시시 코티졸 농도는 2.7~5.2 ng/mL로 안정시 값과 매우 유사하였다. 그러나 Chang et al. (1999)과 Park et al. (1999)의 연구에서 넙치는 1회성 저수온 충격에 대한 스트레스 반응이 무딘 것으로 보고했으며, 이는 넙치의 종 특이성, 서식습성, 낮은 운동성 및 저수온 스트레스 저항력 등과 같은 요인이 작용한 결과로 보아진다고 하였다.

본 연구에서 넙치는 1회성 수온하강시에 체표의 반문이 더욱 뚜렷해졌으며, 체표점액 분비상태는 육안이나 감촉으로는 변화를 구별할 수 없었다. 그러나 어체의 운동성은 매우 둔화되었다. 수온 상승시에는 체표의 반문이 뚜렷하지는 않았으나, 체표점액의 분비 증가는 수온 하강시와는 반대로 육안으로 확인할 수 있었다. 수온 상승시 운동성은 하강시에 비해 활발하였으나, 수온급변 스트레스를 주기전 보다는 둔화되는 경향이 있었다. 또한 수온하강시 보다 수온 상승시에는 아가미 개폐운동이 빨라지는 것이 관찰되었다.

1회성 수온 급하강시 넙치대와 쥐노래미의 코티졸 농도는 높아졌고, 급상승시에는 넙치는 증가하지 않았으나, 쥐노래미는 급하강시 보다 증가폭이 적었지만 증가하는 경향을 보였다. 수온 급하강시 넙치와 쥐노래미의 글루코스와 젖산 농도는 코티졸 증가에 비하여 상승하지 않았고 각각 감소 또는 정체되었다. 한편 수온 급상승시에도 넙치는 글루코스와 젖산이 뚜렷한 변화가 없었으며, 쥐노래미는 글루코스와 젖산의 농도가 증가된 경향을 나타냈다. 넙치의 경우, 본 연구와 유사하게 실험한 Park et al. (1999)의 보고에서 코티졸 농도는 수온자극 후 5시간째까지 계속해서 높아졌으며, 글루코스 농도는 5시간까지는 감소하였으나, 14시간째에 증가하였다. 본 연구에서도 수온을 급하강시킨 5시간째에 넙치대와 쥐노래미의 코티졸 농도가 증가하고 글루코스 농도는 5시간째 감소 또는 정체현상을 나타내 Park et al. (1999)의 연구결과와 유사하였다. 그러나 1회성 수온 급상승시 쥐노래미는 급하강시 보다 코티졸 농도가 낮았으나, 글루코스와 젖산의 변화 경향으로 볼 때, 수온 급상승에 따른 스트레스 영향이 인정된다.

급성 스트레스는 젖산이 생성됨으로 인하여 혈액이 산성화되어

Table 3. Physico-chemical compositions in plasma of olive flounder and fat cod by the sudden drop and rise of water temperature (Exp. I, II)

WT (°C)	Elapsed time (hours)	Osmolality (mOsm/kg)			AST (IU/L)			ALT (IU/L)		
		FL	FS	FC	FL	FS	FC	FL	FS	FC
20	0	449.0± 9.9 ^a	444.5±26.2 ^a	377.5±24.8 ^a	274.5±176.1 ^a	322.5±129.4 ^a	142.5±10.6 ^a	300.0± 93.3 ^a	310.5±6.4 ^a	100.5±14.9 ^a
10	5.0	395.0±128.7 ^a	410.0±18.4 ^a	369.0± 1.4 ^a	337.5±163.3 ^a	379.5± 19.1 ^a	148.5±53.0 ^a	240.0±106.1 ^a	240.0±8.5 ^a	145.5±74.3 ^a
20	0	449.0± 9.9 ^a	444.5±26.2 ^a	377.5±24.8 ^a	274.5±176.1 ^a	322.5±129.4 ^a	142.5±10.6 ^a	300.0± 93.3 ^a	310.5±6.4 ^a	100.5±14.9 ^a
30	5.0	543.5± 0.7 ^b	451.0±24.0 ^a	517.0±48.1 ^b	442.5± 10.6 ^a	427.5± 10.6 ^a	150.0±25.5 ^a	310.5± 6.4 ^a	279.0±0.0 ^a	190.5±82.7 ^a

The values are mean±SD (FL, FC; n=6, FS; n=16). AST: aspartate aminotransferase, ALT: alanine aminotransferase. FL, FS and FC are same abbreviations as in the Table I. Means within each column followed by the same alphabetic letter are not significantly different (P>0.05).

Table 4. Survival rate of olive flounder and fat cod by the sudden drop and rise of water temperature

Experimental condition	Survival rate (%)		
	FL	FS	FC
20°C→10°C/5 hours (Exp. I)	100.0	100.0	100.0
20°C→30°C/5 hours (Exp. II)	90.0	99.0	0

FL, FS and FC are same abbreviations as in the Table I.

생체내 산소수급에 문제가 발생 (Perry and Reid, 1993)하기 때문에, 호기성 대사에서 필요한 양의 에너지를 얻을 수 없었을 것으로 생각된다. 따라서 고농도의 코티졸이 글루코스 신생합성 과정을 활성화 (Barton and Iwama, 1991; Davis et al., 1985)시킴에 따라, 다량으로 생성된 글루코스가 혐기적 대사를 촉진시켜 에너지 수급에 대처해야 하는데, 본 연구에서는 코티졸, 글루코스, RBC, Ht 및 Hb이 증가했음에도 불구하고 젖산의 과다한 생성으로 혐기적 대사를 촉진시키지 못하여 에너지 수급에 문제가 생긴 것으로 생각된다. 본 연구에서 쥐노래미의 경우, 혈액의 pH, 산소 소비량 등은 조사하지 않았으나, 아마도 혈액산성화 현상에 의해 불충분한 산소수급이 일어나 에너지 생성에 영향을 주어 전량 폐사한 것으로 추측된다. 그러나 수온 하강시에 코티졸 농도는 높게 나타났지만, 글루코스와 젖산 및 혈액 성분으로 볼 때, 수온상승시 보다 낮은 수치를 보임으로써, 혈액 산성화는 일어나지 않았으며, 산소수급도 원활한 상태였음을 암시한다.

따라서 본 연구 결과, 넘치는 Chang et al. (1999)과 Park et al. (1999)의 연구에서와 같이 1회성 수온급변에 대하여 강한 어종인 것으로 나타났고, 다른 경골어류의 스트레스 반응 보다 다소 낮은 반응을 보여주었다. 일반적으로 연어류의 스트레스시 나타나는 코티졸 농도는 40~200 ng/mL인 것으로 알려지고 있으며, 다른 어종에서는 스트레스시 이 보다 더 높게 나타날 수 있다고 하였다 (Pickering and Pottinger, 1989). 이는 어종 및 실험조건이 연구자 마다 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 넘치는 1회성 스트레스에 강한 어종인 것으로 보이는 반면, 쥐노래미는 스트레스 지표인 코티졸 수준 및 생존율 등으로 볼 때, 수온 급하강 보다는 급상승시에 스트레스를 크게 받는 어종인 것으로 판단된다.

요 약

1회성의 수온급변 실험으로서 크게 2가지 형태의 수온변화 조건을 주었다: 20°C로부터 시간당 2°C씩 수온을 떨어뜨려 10°C까지 (소요시간 5시간) 낮춘 다음, 21시간 유지한 것 (Exp. I)과 20°C로부터 시간당 2°C씩 수온을 상승시켜 30°C까지 (소요시간 5시간) 올린 다음, 21시간 유지한 것 (Exp. II). 수온을 20°C로부터 10°C로 급격하게 낮춘 실험에서 실험어의 Ht는 넘치대 11.6±0.2~15.5±0.1%, 넘치소 9.0±0.4~13.5±2.0%, 쥐노래미 18.3±3.6~23.2±3.8%의 범위로서 쥐노래미가 넘치에 비하여 높은 값을 나타냈다. 코티졸 농도는 넘치소에서 유의한 변화를 보이지 않은 반면, 넘치대와 쥐노래미에서 실험개시시에 각각 5.2±8.5 ng/mL, 2.7±0.4 ng/mL였던 것이 10°C 하강시에 각각 164.0±53.1 ng/mL, 207.9±25.4 ng/mL로 크게 높아졌다. 젖산은 넘치대에서는 실험개시시에 비해 차이를 보이지 않았으나, 넘치소와 쥐노래미에서 개시시 보다 낮아져 글루코스 농도의 변화와 비슷하였다. 수온을 20°C로부터 30°C로 급격하게 높인 Exp. II에서 실험어의 Hb 변화는 모든 어종에서 수온급상승에 따라 약간 높아지는 경향을 보이다가 실험개시시의 수준으로 회복되었다. 쥐노래미에서는 수온급변에 따라 MCV는 상승하는 반면, MCHC는 하강하였다. 넘치대·소의 코티졸 농도는 Exp. I의 결과와 같이 큰 변화를 나타내지 않았다. 그러나 쥐노래미에서는 실험개시시의 2.7±0.2 ng/mL로부터 44.7±9.1 ng/mL로 높아졌다. 글루코스 농도는 모든 어종에서 실험개시시 보다 높아져 Exp. I 결과와는 반대되는 경향을 나타냈다.

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.
 Chang, Y.J., M.R. Park, D.Y. Kang and B.K. Lee. 1999. Physiological responses of cultured olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) on series of lowering seawater temperature sharply and continuously. J. Korean Fish. Soc., 32, 601~606 (in Korean).
 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.

- Donaldson, E.M. 1981. In *Stress in Fish* A.D. Pickering, ed., Academic Press, London, p. 11.
- Fryer, J.N. 1975. Stress and adrenocorticosteroid dynamics in the goldfish, *Carassius auratus*. *Can. J. Zool.*, 53, 1011~1020.
- 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.
- 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.
- Park, M.R., Y.J. Chang and D.Y. Kang. 1999. Physiological response of the cultured olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) to the sharp changes of water temperature. *J. Aquaculture*, 12, 221~228 (in Korean).
- 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. 1990. Stress the suppression of somatic growth in teleost fish. In *Progress in Comparative Endocrinology*, A. Eppler, C.G. Scanes and M.H. Stetson, eds. Wiley-Liss, New York, pp. 473~479.
- Pickering, A.D. 1993. Growth and stress in fish production. *Aquaculture*, 111, 51~63.
- 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.
- 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.
- 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., B.A. Barton and D.J. McLeay. 1990. Stress and acclimation. In *Methods for fish biology*, C.B. Schreck and P.B. Moyle, eds. American Fisheries Society, Bethesda, MD, pp. 451~489.
- Wedemeyer, G.A. and D.J. McLeay. 1981. Methods for determining the tolerance of fishes to environmental stressors. In *Stress and Fish* A.D. Pickering, ed. Academic Press, London, pp. 247~275.
- Wendelaar Bonga, S.E. 1997. The stress response in fish. *Physiol. Rev.* 77, 591~625.

2000년 12월 12일 접수

2001년 2월 22일 수리