

양식어류의 선별과정중 수심감소와 어류의 수조이동에 따른 스트레스 반응

허준욱 · 장영진* · 임한규* · 이복규**

부경대학교 양식학과, *국립수산진흥원 울진수산종묘시험장, **동의대학교 생물학과

Stress Responses of Cultured Fishes Elicited by Water Level Reduction in Rearing Tank and Fish Transference during Selection Process

Jun Wook HUR, Young Jin CHANG⁺, Han Kyu LIM^{*} and Bok Kyu LEE^{**}

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

^{*}Uljin Marine Hatchery, National Fisheries Research and Development Institute, Uljin 767-860, Korea

^{**}Department of Biology, Dong Eui University, Busan 614-714, Korea

The effects of water level reduction in rearing tank and fish transference during fish selection process on the stress response (hematological factors, cortisol, glucose, lactic acid and osmolality) of tank-reared olive flounder *Paralichthys olivaceus* of large (FL), small (FS) and Japanese croaker, *Nibea japonica* (JC) were examined in running seawater culture system. The water level of rearing unit was lowered from 33 cm to 8 cm in the course of 2 minutes in the water level reduction experiment. The fish were removed from rearing tank (12 ton) to 450 L tank in 30 seconds after capture in the fish transference experiment. In water level reduction, the hematocrit of FL was significantly increased from 14.6% at beginning to 23.5% after 10 hours. However, it decreased to the value of beginning after 46 hours. Plasma cortisol concentration of FL was the highest concentration (13.7 ng/mL) after 22 hours, but it decreased to 4.0 ng/mL at the end of experiment. Cortisol concentration of FS did not show any significant difference during the experiment. The cortisol concentration of JC were significantly higher at 4 hours (282.3 ng/mL) and 22 hours (350.5 ng/mL). Glucose concentration of JC was the highest (138.0 mg/dL) at 22 hours. Lactic acid concentration was not different between experimental groups. In the fish transference experiment, red blood cell of FL was increased from 1.9×10^6 cell/ μ L to 4.2×10^6 cell/ μ L in 24 hours. Blood hemoglobin of JC were significantly elevated in 24 hours. At 1 hour after transference, plasma cortisol concentrations in both fish species were increased to 95.3 ng/mL in FL and 175.5 ng/mL in JC. Glucose concentration of JC was increased to 132.5 mg/dL at 1 hour, 129.5 mg/dL at 3 hours after transference.

Key words: *Paralichthys olivaceus*, *Nibea japonica*, Stress, Cortisol, Water level reduction, Fish transference

서 론

넙치는 우리나라의 전 연안에서 양식생산되고 있는 종으로서, 냉수대 등의 수온변화 스트레스에 대하여 타 어종에 비해 내성이 강한 어종으로 알려져 있다 (Chang et al., 1999). 양식장에서 빈번하게 발생할 수 있는 스트레스에 대하여는 인위적 요인과 환경적 요인으로 나뉘어지며 (Donaldson, 1981), 이들 요인은 어류의 성장과 항상성 유지에 상당한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다 (Clarke et al., 1981; Pickering, 1992). 인위적 스트레스 요인중 사육과정에서 성장 차이가 나는 어류를 골라내 같은 크기로 그룹 짓는 선별작업은 양식장에서 피할 수 없는 관리사항의 하나이며, 빈번한 선별작업은 어류에게 상당한 스트레스 요인으로 작용할 것이다. 선별작업 과정에서는 수심감소 (물빼기), 가두기, 포획, 어류이송, 공기노출 등 여러 가지 요소가 복합적으로 작용하여 어류에게 스트레스를 가하게 된다. 양식어류는 선별작업중 스트레스를 심하게 받을 경우, 질병에 대한 면역능력이 감소하고, 성장지연 등의 영향을 미칠 수 있고 심지어는 폐사할 수도 있다 (Barton

and Iwama, 1991).

어류의 스트레스에 관하여는 넙치와 송어를 재료로 수온 (Chang et al., 1999; Park et al., 1999)과 염분 (Chang and Hur, 1999; Hur and Chang, 1999)에 대하여 연구된 바 있다. 그러나 양식어류의 선별과정중 발생할 수 있는 인위적 스트레스에 관한 연구는 부족한 실정이며, 선별 스트레스에 따른 어체의 생리적 변화를 조사해 볼 필요가 있다. 그러므로 본 연구에서는 양식현장에서 선별작업시 처리되는 사육수조의 수심감소와 어류의 이송에 대한 넙치와 큰민어의 스트레스 반응을 파악하기 위하여 혈액학적 요인, 코티졸, 글루코스, 젖산 및 삼투질 농도 등이 스트레스 지표를 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험 조건

실험어로는 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)와 큰민어 (*Nibea japonica*)를 사용하였으며, 넙치의 경우 대어 (넙치대)와 소어 (넙치소)로 구분하였는데, 넙치대는 제주도의 성지실업에서, 넙치소는 울진군의 환일수산에서 사육중인 것을 구입하였다. 큰민어는

⁺Corresponding author: yjchang@pknu.ac.kr

국립수산진흥원 남제주수산종묘시험장에서 사육중이던 어류를 사용하였다. 실험에 사용한 어체의 크기는 Table 1과 같다. 이들 실험어는 대형 콘크리트 수조 (12톤)에 수용하여 매일 모이스트펠렛을 더 이상 먹지 않을 때까지 공급하면서 3주간 안정시켰다. 이후 수심감소 실험에서는 넙치대 40마리, 넙치소와 큰민어 각각 100마리씩 실험어로 사용하였다. 또한 어류이송 실험에서는 넙치대 30마리, 큰민어 100마리를 사용하였다. 실험수조의 용량은 각각 270 L, 450 L였다. 모든 실험은 2반복으로 설정하였으며, 실험수조의 1일 환수율은 수용적의 32배, 용존산소량은 충분히 포기하여 5 ppm 이상이 유지되도록 하였다. 수온조건은 수심감소 실험에서 넙치 21.0±0.2°C, 큰민어 18.2±0.4°C, 어류이송 실험에서는 넙치 24.1±0.3°C, 큰민어 18.2±0.4°C였다. 또한 실험어의 안정과 도피방지를 위하여 수조상부에 비닐 차광막을 덮어주었다.

수심감소 실험에서는 실험어를 실험수조에 수용하여 7일간 안정시킨 다음, 수심을 33 cm (180 L)로부터 2분만에 8 cm (45 L)로 낮추었다. 이후 46시간 두면서 경과시간별로 채혈하였다.

어류이송 실험에서는 12톤 수조 (수량 9톤)에서 사육하던 어류를 포획하여 사각 플라스틱 용기 (57×44×29 cm)에 넙치대 15마리, 큰민어 50마리씩 넣어 30초 이내에 450 L 수조 (수량 300 L)로 옮겼다. 이후 24시간 동안 두면서 경과시간별로 채혈하였다.

2. 혈액 샘플 및 분석

실험어의 혈액은 채혈시각에 맞추어 24시간 전부터 실험어를 절식시킨 다음 실험수조당 넙치대는 3마리씩, 넙치소와 큰민어는 8마리씩 무작위 추출하고, 헤파린을 처리한 주사기를 사용하여 마취없이 1분 이내에 개체별로 미병부의 혈관에서 채취하였다. 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)를 분석한 후, 이 값으로부터 평균적혈구용적 (mean corpuscular volume; MCV), 평균적혈구혈색소량 (mean corpuscular hemoglobin; MCH) 및 평균적혈구혈색소농도 (mean corpuscular hemoglobin concentration; MCHC)를 산정하였다. 나머지는 상온에서 20분간 방치한 뒤, 원심분리 (5,600×g, 5분)에 의해 혈장을 추출하여 -70°C에 보관하면서 코티졸과 글루코스 등의 분석에 사용하였다.

모든 실험에서 혈장 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 글루코스, 젓산, 및 삼투질 농도를 조사하였다. 글루코스와 젓산은 건식생화학분석기 (Kodak, USA)로 분석하였고, 삼투질 농도는 Na염의 함유량에 따라 동결점이 다른 것을 응용하여 micro osmometer (3 MO, USA)를 사용하여 분석하였다.

3. 통계처리

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

결 과

1. 혈액학적 요인 변화

수심을 33 cm (180 L)로부터 8 cm (45 L)로 감소시킨 실험에서 Ht는 실험전 넙치대 14.6±0.4%, 넙치소 9.2±0.5%였던 것이 넙치대에서는 수심감소 10시간째까지 계속 높아져 23.5±4.8%를 나타냈으며, 넙치소에서도 같은 경향이였다 (Table 2). 이후 대소그룹 모두 실험종료시 (46시간째)에 각각 14.4±0.2%, 11.0±0.2%로 실험개시시와 비슷한 수준으로 회복되었다. 한편 큰민어는 실험개시시의 15.1±0.1%로부터 1, 4시간째 각각 18.4±0.0%, 30.4±0.5%로 높아졌으나, 46시간째에는 14.0±0.1%로 낮아져 실험개시시 수준으로 회복되었다. RBC는 큰민어의 경우, 4시간째 3.0±0.1×10⁶ cell/ μ L로 실험기간중 가장 높은 값을 보였으나, 넙치소에서는 실험기간 동안 유의한 차이를 보이지 않았다 (P>0.05). Hb의 변화는 넙치대에서 실험개시시 12.4±2.0 g/dL로부터 10시간째까지 꾸준히 높아졌으나, 22시간째에는 12.5±2.0 g/dL로 안정된 수준을 보였다. MCV의 경우 넙치대에서는 실험개시시 55.8±0.5 fL에서 4, 10 및 22시간째까지 각각 69.6±0.3, 70.4±1.4, 74.9±0.8 fL로 계속 높아졌다.

어류이송에 따른 혈액학적 요인의 변화는 Table 3에서 보는 것과 같이, 넙치대의 Ht는 실험개시시의 10.0±0.4%로부터 1시간째 16.9±0.1%로 높아졌고 (P<0.05), 3시간째에는 21.5±0.3%로 가장 높은 값을 보였으며, 실험종료시인 24시간째에도 19.6±1.4%로 여전히 높은 값을 유지하였다. RBC도 Ht와 같은 경향으로 실험개시시 1.9±0.0×10⁶ cell/ μ L로부터 실험종료시 4.2±0.0×10⁶ cell/ μ L로 약 2배 높아진 값을 나타냈다. Hb 농도도 Ht와 RBC와 같이

Table 1. Sizes of tank-reared olive flounder and Japanese croaker during the experiment of water level reduction in rearing tank and fish transference

Experiment of	FL		FS		JC	
	TL (cm)	BW (g)	TL (cm)	BW (g)	TL (cm)	BW (g)
Water level reduction (180 L → 45 L)	28.2±9.4	277.4±10.8	12.6±0.1	17.1±0.6	28.3±3.5	220.3±80.5
Fish transference (12,000 L → 450 L)	31.9±0.3	380.4±11.2	—	—	28.3±3.5	220.3±80.5

The values are mean ± SD. FL: olive flounder in large size, FS: olive flounder in small size, JC: Japanese croaker. TL: total length, BW: body weight.

Table 2. Changes of hematological factor of olive flounder and Japanese croaker for the experiment of water level reduction in rearing tank

WL (L)	Elapsed time (hour)	Ht (%)			RBC ($\times 10^6$ cell/ μ L)			Hb (g/dL)		
		FL	FS	JC	FL	FS	JC	FL	FS	JC
180	0	14.6 \pm 0.4 ^a	9.2 \pm 0.5 ^a	15.1 \pm 0.1 ^{ab}	2.6 \pm 0.1 ^{ab}	1.7 \pm 0.0 ^a	1.6 \pm 0.0 ^a	12.4 \pm 2.0 ^{ab}	10.4 \pm 0.4 ^a	9.8 \pm 0.1 ^b
45	1	15.8 \pm 0.8 ^a	10.9 \pm 3.6 ^a	18.4 \pm 0.0 ^c	2.9 \pm 0.2 ^{ab}	1.8 \pm 0.6 ^a	1.9 \pm 0.0 ^c	14.6 \pm 0.7 ^b	12.1 \pm 1.1 ^{ab}	11.2 \pm 0.0 ^b
45	4	18.1 \pm 0.1 ^{ab}	11.6 \pm 0.3 ^a	30.4 \pm 0.5 ^d	2.6 \pm 0.0 ^{ab}	1.7 \pm 0.0 ^a	3.0 \pm 0.1 ^d	15.7 \pm 0.1 ^{bc}	13.7 \pm 0.1 ^b	11.4 \pm 0.1 ^c
45	10	23.5 \pm 4.8 ^b	12.1 \pm 0.2 ^a	20.0 \pm 0.1 ^{bc}	3.4 \pm 1.0 ^b	1.8 \pm 0.2 ^a	2.1 \pm 0.0 ^{bc}	20.3 \pm 5.9 ^c	13.5 \pm 0.5 ^b	10.8 \pm 0.0 ^b
45	22	15.4 \pm 0.6 ^a	11.6 \pm 0.3 ^a	18.6 \pm 0.5 ^{abc}	2.1 \pm 0.1 ^a	1.7 \pm 0.0 ^a	1.8 \pm 0.0 ^{abc}	12.5 \pm 2.0 ^{ab}	11.9 \pm 0.3 ^{ab}	8.4 \pm 0.4 ^a
45	46	14.4 \pm 0.2 ^a	11.0 \pm 0.2 ^a	14.0 \pm 0.1 ^a	2.3 \pm 0.0 ^a	1.4 \pm 0.1 ^a	1.7 \pm 0.0 ^{ab}	8.8 \pm 0.0 ^a	10.6 \pm 0.0 ^a	10.9 \pm 0.1 ^b

The values are mean \pm SD (FL; n=6, FS, JC; n=16). Means within each column followed by the same alphabetic letter are not significantly different (P>0.05). WL: water level (litre). FL, FS and JC are same abbreviations as in the Table 1. Ht: hematocrit, RBC: red blood cell, Hb: hemoglobin.

Table 2. Continued

WL (L)	Elapsed time (hour)	MCV (fl)			MCH (pg)			MCHC (%)		
		FL	FS	JC	FL	FS	JC	FL	FS	JC
180	0	55.8 \pm 0.5 ^a	54.4 \pm 2.1 ^a	93.7 \pm 0.8 ^b	47.5 \pm 5.2 ^b	61.4 \pm 1.7 ^a	66.9 \pm 0.6 ^{cd}	85.0 \pm 9.4 ^{bc}	113.0 \pm 9.0 ^a	65.1 \pm 0.1 ^{cd}
45	1	55.6 \pm 2.3 ^a	61.5 \pm 2.4 ^{ab}	98.3 \pm 0.7 ^{bc}	51.5 \pm 4.3 ^{bc}	78.9 \pm 21.7 ^{ab}	59.6 \pm 0.4 ^{bcd}	92.6 \pm 4.1 ^c	128.0 \pm 34.5 ^a	60.6 \pm 0.1 ^{abc}
45	4	69.6 \pm 0.3 ^c	70.6 \pm 0.4 ^{bc}	100.5 \pm 3.7 ^{bc}	60.9 \pm 0.8 ^c	83.3 \pm 1.4 ^b	37.6 \pm 2.0 ^a	88.3 \pm 2.7 ^b	118.0 \pm 3.2 ^a	37.4 \pm 0.2 ^a
45	10	70.4 \pm 1.4 ^c	68.5 \pm 4.9 ^b	91.4 \pm 2.2 ^{ab}	59.5 \pm 0.7 ^c	76.7 \pm 2.6 ^{ab}	50.2 \pm 0.3 ^{abc}	85.0 \pm 2.4 ^{bc}	112.0 \pm 0.2 ^a	55.0 \pm 0.2 ^{bc}
45	22	74.9 \pm 0.8 ^c	70.7 \pm 14.0 ^{bc}	104.9 \pm 0.6 ^c	60.6 \pm 3.6 ^c	72.4 \pm 1.1 ^{ab}	46.7 \pm 0.1 ^{ab}	80.9 \pm 7.5 ^b	105.0 \pm 3.9 ^a	45.2 \pm 0.4 ^{ab}
45	46	62.9 \pm 0.4 ^b	81.4 \pm 6.3 ^c	83.2 \pm 1.4 ^a	39.8 \pm 0.5 ^a	78.1 \pm 2.5 ^{ab}	63.4 \pm 0.4 ^d	63.5 \pm 0.2 ^a	97.7 \pm 1.2 ^a	76.2 \pm 0.0 ^d

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

Table 3. Changes of hematological factors of olive flounder and Japanese croaker for the experiment of fish transference

FT (L)	Elapsed time (hour)	Ht (%)		RBC ($\times 10^6$ cell/ μ L)		Hb (g/dL)	
		FL	JC	FL	JC	FL	JC
12,000	0	10.0 \pm 0.4 ^a	14.6 \pm 0.1 ^a	1.9 \pm 0.0 ^a	2.1 \pm 0.0 ^a	7.0 \pm 0.1 ^a	9.8 \pm 0.2 ^a
450	1	16.9 \pm 0.1 ^b	21.6 \pm 0.3 ^a	3.2 \pm 0.0 ^{bc}	1.9 \pm 0.0 ^a	14.8 \pm 0.8 ^{bc}	12.8 \pm 0.1 ^c
450	3	21.5 \pm 0.3 ^{ab}	32.9 \pm 0.3 ^b	4.3 \pm 0.1 ^{ab}	3.0 \pm 0.1 ^b	20.7 \pm 0.3 ^{bc}	9.6 \pm 0.3 ^a
450	6	15.0 \pm 1.4 ^{ab}	20.0 \pm 0.0 ^a	2.8 \pm 0.2 ^{ab}	1.8 \pm 0.1 ^a	18.1 \pm 1.4 ^{bc}	9.6 \pm 0.4 ^a
450	12	15.5 \pm 2.7 ^{ab}	18.7 \pm 0.3 ^a	2.7 \pm 0.3 ^{ab}	1.8 \pm 0.0 ^a	13.7 \pm 5.8 ^b	11.2 \pm 0.1 ^b
450	24	19.6 \pm 1.4 ^b	21.7 \pm 0.2 ^a	4.2 \pm 0.0 ^c	2.0 \pm 0.0 ^a	20.4 \pm 3.0 ^c	12.0 \pm 0.0 ^{ab}

The values are mean \pm SD (FL; n=6, JC; n=16). Means within each column followed by the same alphabetic letter are not significantly different (P>0.05). FT: fish transference (litre). FL and JC are same abbreviations as in the Table 1. Ht, RBC and Hb are same abbreviations as in the Table 2.

Table 3. Continued

FT (L)	Elapsed time (hour)	MCV (fl)		MCH (pg)		MCHC (%)	
		FL	JC	FL	JC	FL	JC
12,000	0	52.1 \pm 2.4 ^b	75.3 \pm 0.1 ^a	36.8 \pm 0.3 ^a	50.2 \pm 0.4 ^{ab}	70.6 \pm 3.9 ^a	67.1 \pm 0.5 ^d
450	1	53.9 \pm 0.1 ^b	116.4 \pm 2.3 ^b	47.0 \pm 4.6 ^b	69.7 \pm 0.2 ^c	87.5 \pm 9.3 ^b	59.6 \pm 0.2 ^{cd}
450	3	50.7 \pm 0.6 ^b	110.8 \pm 1.0 ^b	49.6 \pm 2.6 ^b	37.2 \pm 0.3 ^a	97.6 \pm 4.4 ^{bc}	33.4 \pm 0.7 ^a
450	6	52.6 \pm 2.1 ^b	108.2 \pm 3.1 ^b	63.3 \pm 1.3 ^c	52.3 \pm 0.2 ^{abc}	120.0 \pm 1.8 ^d	48.4 \pm 2.0 ^b
450	12	53.2 \pm 0.1 ^b	103.9 \pm 0.3 ^b	48.7 \pm 6.5 ^b	61.6 \pm 0.2 ^{bc}	90.9 \pm 11.5 ^b	59.7 \pm 0.3 ^{cd}
450	24	42.7 \pm 2.0 ^a	107.6 \pm 1.1 ^b	50.0 \pm 9.1 ^b	59.4 \pm 0.1 ^{bc}	105.0 \pm 15.2 ^c	55.3 \pm 0.4 ^{bc}

MCV, MCH and MCHC are same abbreviations as in the Table 2.

실험개시시에 7.0 \pm 0.1 g/dL였던 것이 종료시에는 20.4 \pm 3.0 g/dL로 크게 높아졌다. 큰민어의 Hb는 실험개시시의 9.8 \pm 0.1 g/dL로부터 1시간째 12.8 \pm 0.1 g/dL로 유의하게 높아졌지만, 실험종료시에는

12.0 \pm 0.0 g/dL로 다소 높았지만 실험개시시와 유의한 차이를 보이지 않았다. 큰민어의 MCV는 실험개시시 75.3 \pm 0.1 fl에서 1시간째 116.4 \pm 2.3 fl로 유의하게 높아졌으며, 실험종료시까지도 높은

값을 유지하였다. 넙치대의 MCHC는 실험개시시 $70.6 \pm 3.9\%$ 로부터 1시간째부터 $87.5 \pm 9.3\%$ 로 유의하게 높아졌으며, 6시간째에는 실험기간중 가장 높은 값인 $120.0 \pm 1.8\%$ 를 나타냈다.

2. 혈장 코티졸, 글루코스 및 젖산 농도 변화

수심감소에 따른 실험어의 혈장 코티졸, 글루코스 및 젖산의 농도 변화는 Fig. 1과 같다. 실험개시시 넙치대의 코티졸 수준은 1.9 ± 1.2 ng/mL였던 것이 1시간째 5.7 ± 3.0 ng/mL, 4시간째 10.2 ± 7.9 ng/mL로 높아졌으나, 유의차는 없었다. 그러나 22시간째에는 13.7 ± 1.1 ng/mL로 실험개시시 보다는 약 7배 높아졌고 ($P < 0.05$), 46시간째에는 4.0 ± 1.8 ng/mL로 실험개시시 수준으로 회복되었다. 넙치소에서는 실험개시시 8.3 ± 5.4 ng/mL로부터 1시간째 11.8 ± 11.6 ng/mL로 높아졌으나, 전 실험기간 동안 유의차는 인정되지 않았다. 큰민어의 코티졸 값은 실험개시시 82.4 ± 26.3 ng/mL로부터 4시간째에는 282.3 ± 1.1 ng/mL로 높아졌고, 22시간째에는 350.5 ± 92.6 으로 차이를 나타냈다. 그러나 실험종료시에는 16.0 ± 15.6 ng/mL로 낮아졌다. 글루코스 농도의 변화는 실험개시시 넙치대와 넙치소에서 각각 28.5 ± 0.7 , 29.5 ± 0.7 mg/dL으로부터 넙치대 $26.0 \pm 4.2 \sim 28.0 \pm 11.3$ mg/dL, 넙치소 $27.5 \pm 7.8 \sim 28.5 \pm 2.1$ mg/dL로 낮아졌으나 유의한 차이를 나타내지 않았다 ($P > 0.05$). 그러나 큰민어는 실험개시시 57.0 ± 12.7 mg/dL로부터 22시간째에는 138.0 ± 33.9 mg/dL로 유의하게 높아졌다. 젖산은 모든 실험구에서 유의차가 인정되지 않았다.

어류이송에 따른 코티졸, 글루코스 및 젖산의 변화는 Fig. 2와 같다. 실험개시시 넙치대의 코티졸 농도는 1.2 ± 1.0 ng/mL로부터 이동 1시간째 95.3 ± 31.9 ng/mL로 높아졌고 ($P < 0.05$), 3시간째에는 다시 7.8 ± 5.2 ng/mL로 낮아졌으며, 실험종료시에는 2.3 ± 2.7 ng/mL로 개시시의 수준으로 회복되었다. 한편 큰민어는 실험개시시 5.5 ± 2.1 ng/mL로부터 1시간째 175.5 ± 12.0 ng/mL로 높아졌으며 ($P < 0.05$), 3시간째 55.5 ± 43.1 ng/mL, 6시간째 15.5 ± 14.8 ng/mL, 실험종료시 67.5 ± 64.3 ng/mL로 실험개시시와 차이를 보이지 않았다. 큰민어의 혈장 글루코스는 1, 3시간째에 각각 132.5 ± 3.5 mg/dL, 129.5 ± 36.1 mg/dL로 실험개시시의 46.5 ± 0.7 mg/dL 보다 높은 값을 보였다 ($P < 0.05$). 그러나 넙치대는 전 실험기간중 25.0 ± 5.7 mg/dL \sim 76.5 ± 47.4 mg/dL의 범위에서 유의차는 인정되지 않았다. 한편 넙치대에서 젖산농도는 실험개시시의 0.7 ± 0.1 mmol/L로부터 6시간째에 0.9 ± 0.0 mmol/L로 높아졌으나, 실험종료시에는 0.7 ± 0.1 mmol/L로 개시시 수준으로 회복되었다.

3. 혈장의 삼투질 농도 변화

수심감소에 따른 실험어 혈장의 삼투질 농도는 실험개시시에 넙치대 445.0 ± 0.0 mOsm/kg, 넙치소 429.5 ± 20.5 mOsm/kg이었다 (Fig. 3). 이후 넙치대는 실험종료시 $394.5 \pm 47.4 \sim 464.5 \pm 38.2$ mOsm/kg으로 실험개시시와 차이를 보이지 않았으나, 넙치소에서는 실험종료시 466.0 ± 8.5 mOsm/kg으로 1, 4 및 22시간째 보다 높은 경향을 보였다. 큰민어는 실험개시시에 373.5 ± 0.7 mOsm/kg였던 것이 1, 4시간째에는 차이를 보이지 않았으나, 22시간째에 445.5 ± 27.6 mOsm/kg으로 유의하게 높아졌고, 실험종료시에는

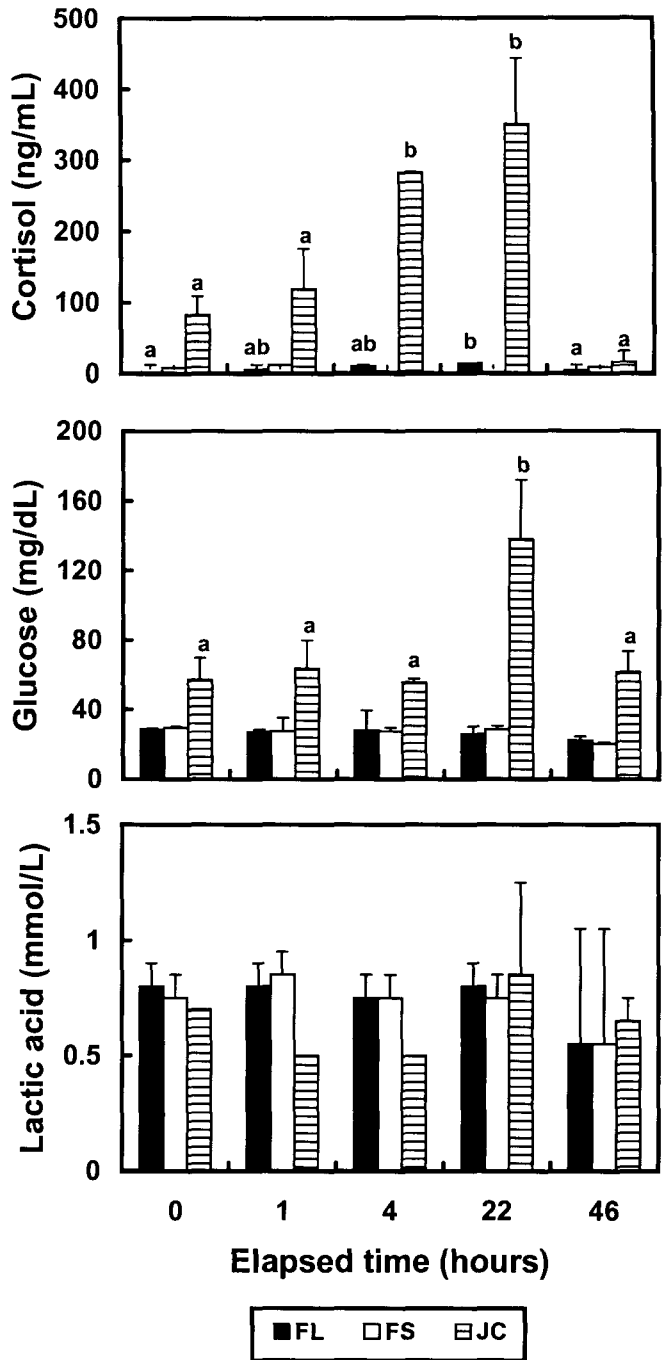


Fig. 1. Changes of plasma cortisol, glucose and lactic acid levels of olive flounder and Japanese croaker for the experiment of water level reduction in rearing tank. Same letters on the same colored bars are not significantly different ($P > 0.05$). FL, FS and JC are same abbreviations as in the Table 1.

409.0 \pm 38.2 mOsm/kg을 나타내 실험개시시와 유의한 차이를 보이지 않았다.

어류이송에 따른 실험어 혈장의 삼투질 농도는 Fig. 4와 같이, 넙치대는 실험개시시의 468.5 ± 5.0 mOsm/kg로부터 이송후 1, 3시

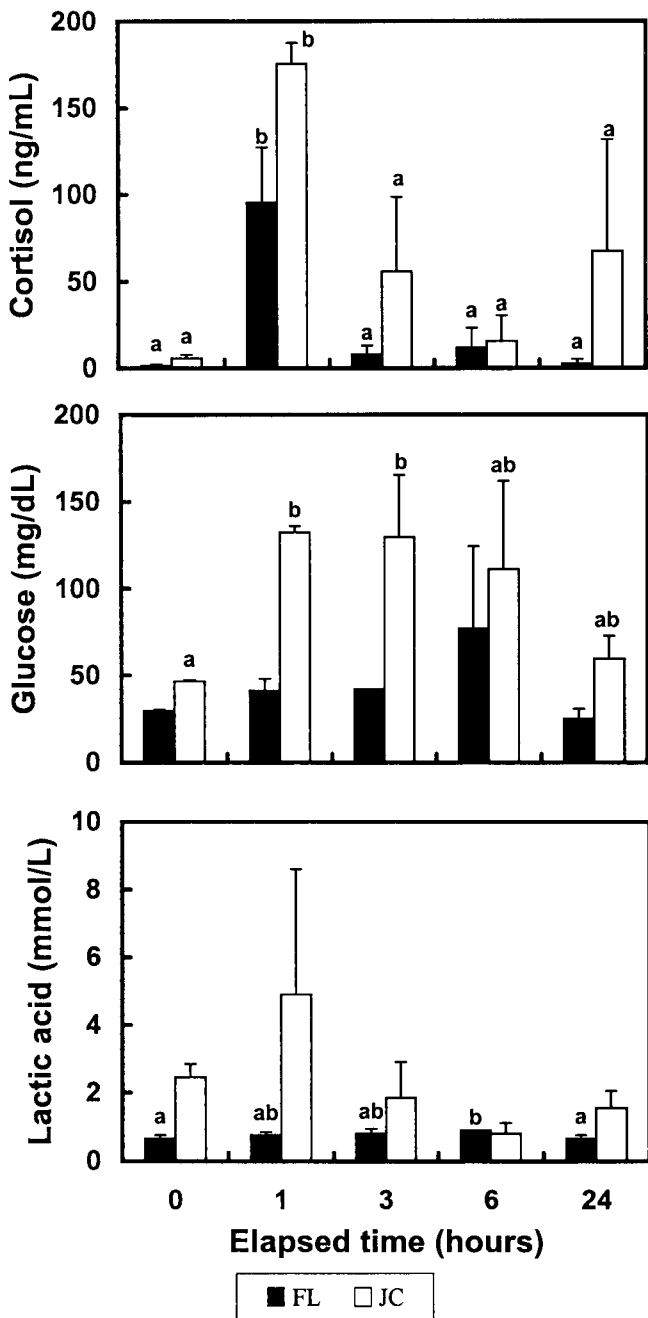


Fig. 2. Changes of plasma cortisol, glucose and lactic acid levels of olive flounder and Japanese croaker for the experiment of fish transference. Same letters on the same colored bars are not significantly different ($P>0.05$). FL and JC are same abbreviations as in the Table 1.

간체에 각각 422.5 ± 7.8 mOsm/kg, 422.0 ± 4.2 mOsm/kg으로 낮아졌으며 ($P<0.05$), 6시간째에는 449.0 ± 2.8 mOsm/kg으로 유의하게 높아졌으나, 실험종료시에는 408.0 ± 4.2 mOsm/kg으로 낮아져 실험기간 동안 가장 낮은 값을 보였다. 그러나 큰민어는 실험기간 동안 삼투질 농도의 차이가 인정되지 않았다.

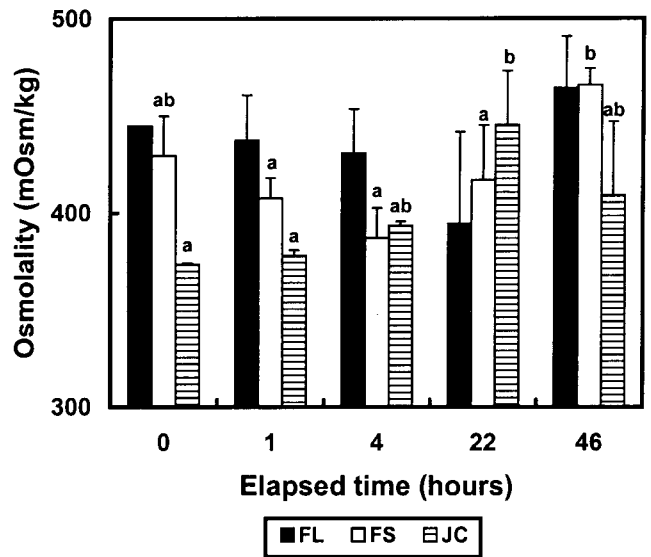


Fig. 3. Osmolality changes of olive flounder and Japanese croaker for the experiment of water level reduction in rearing tank. Same letters on the same colored bars are not significantly different ($P>0.05$). FL, FS and JC are same abbreviations as in the Table 1.

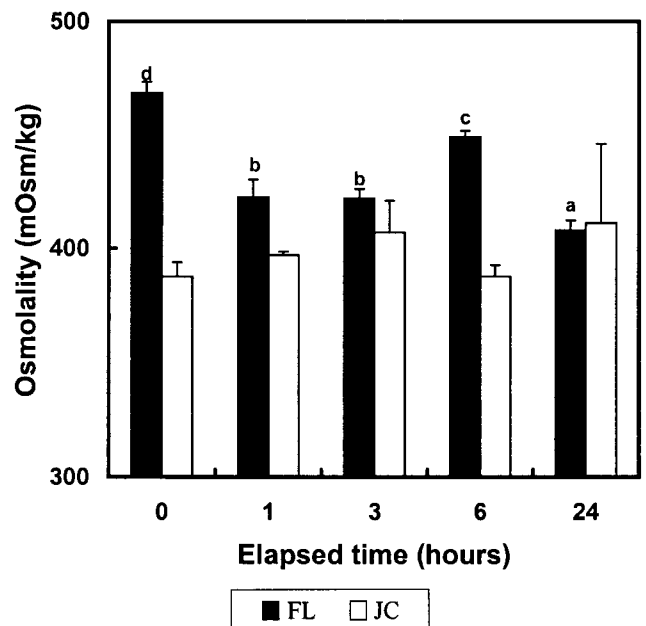


Fig. 4. Osmolality changes of olive flounder and Japanese croaker for the experiment of fish transference. Same letters on the same colored bars are not significantly different ($P>0.05$). FL and JC are same abbreviations as in the Table 1.

고찰

양식과정중에 사육되는 어류가 받을 수 있는 여러가지 스트레스 요인이 존재하며, 이러한 스트레스들에 의해 사육어류는 체내 생리적

불균형이 일어나고 약해져서 질병에 감염되거나 결국 폐사에 이를 수 있다 (Strange et al., 1977; Wedemeyer and McLeay, 1981). 특히, 우리나라에서 넙치양식은 집약적인 사육방법을 사용하고 있으며, 이에 따른 수질악화, 영양결핍 및 사육시 발생하는 인위적 스트레스로 인하여, 사육중의 어류는 최적의 건강도와 성장상태를 유지하지 못하는 경우가 많다.

어류의 안정시 코티졸 수준은 Pickering and Pottinger (1989)가 제시한 스트레스를 받지 않는 상태 (30~40 ng/mL) 또는 이상적인 농도 (5 ng/mL)에 비추어 본 연구의 넙치는 이에 유사하였으나, 큰민어는 실험개시시 95 ng/mL의 코티졸 수준을 나타내 Pickering and Pottinger가 제시한 값 보다는 높은 수치를 보여 주었다. 특히 Pickering and Pottinger는 연어과 어류를 대상으로 파악한 것이므로, 이들 어종과 생활사 및 생리적 특성이 다른 넙치와 큰민어는 안정시 코티졸 농도가 서로 다를 수 있다고 보인다. 넙치에 대한 스트레스 반응에 관하여 국내에서 수온급변과 관련된 연구가 보고된 바 (Chang et al., 1999; Park et al., 1999; Chang et al., 2001a) 있으나, 스트레스 조건이 달라 본 연구결과와 직접적으로 비교하기는 어려우며, 큰민어의 스트레스 반응과 관련된 연구결과는 아직 보고된 바 없다.

본 연구에서 수심감소에 따른 코티졸 농도는 넙치대와 넙치소에서 수심감소 후에 약간 상승하는 경향을 보였으며, 넙치대에서는 22시간째에 유의하게 높아진 반면, 넙치소에서는 실험기간 동안 차이를 보이지 않았다. 한편 큰민어에서는 1시간째부터 코티졸이 증가하기 시작하여 22시간까지 상승하는 경향을 보였다. 어류이송에 따른 코티졸 농도는 넙치대와 큰민어는 1시간째 모두 유의하게 증가된 경향을 보였다. Barton and Iwama (1991)는 스트레스시 코티졸 값은 어종에 따라 증가속도와 시간이 다르게 나타난다고 하였다. 본 연구에서도 코티졸의 증가시간과 회복시간이 다르게 나타났는데, 그 예로는 Einarsdottir and Nilssen (1996)은 대서양연어 (*Salmo salar*)의 수심감소에 따른 코티졸 농도는 실험 1시간 이내에 최고값을 나타내고, 이후 2시간째부터는 실험개시시와 차이를 보이지 않았다고 하였다. Red drum을 사용한 Robertson et al. (1987)은 핸들링 스트레스에 따른 코티졸 농도는 최고값이 1시간째 나타났고, 3시간 이후에는 안정값으로 회복되었다고 하여, 본 연구와는 상반된 결과를 나타내었다. 이와 같이 대부분 연구에서 어체에 급성 스트레스를 주었을 때, 코티졸 농도는 1~3시간 이전에 최고값으로 증가하고, 다시 회복되는 시간은 6시간 이내인 것으로 알려지고 있다 (Barton et al., 1980; Pickering and Pottinger, 1989). 그러나 Waring et al. (1992)은 가자미류 (*Platichthys flesus*)와 대서양연어를 사용하여 핸들링에 따른 코티졸 농도는 실험개시시 보다 1시간째부터 증가하기 시작하여 48시간 이후에 실험개시시의 수준으로 회복되었다고 하였다. 한편, 무지개송어 (*Oncorhynchus mykiss*) (Pankhurst and Dedual, 1994), 삼색기 (*Hemirhamphus villosus*) (Vijayan and Moon, 1994) 및 turbot (*Scophthalmus maximus*) (Waring et al., 1996)에서는 코티졸 수준이 24시간째, 부라운송어 (*Salmo trutta*) (Pickering and Pottinger, 1989)에서는 8시간째에 회복되었다고 하여, 어종에 따라 코티졸 수준의 회복시간이 다르게 나타남을 알 수 있다.

본 연구에서는 넙치대와 큰민어는 22시간까지 유의하게 높은 수준을 나타내고 있어 다른 연구의 코티졸 변화경향과 차이를 나타내었다. Barton and Iwama (1991)는 혈장 코티졸이 실험개시시 수준으로 회복되는 시간은 어종, 스트레스의 종류 및 정도에 따라 다르다고 하였는데, 본 연구에서 코티졸 농도의 최고값에 이르는 시간이 스트레스의 종류에 따라 차이를 보이는 것은 이에 따른 것으로 추측된다. 또한 넙치와 큰민어의 코티졸 농도 차이는 어류의 생태적 습성의 차이에 의한 것으로 볼 수 있다. 즉, 넙치는 저서성인 데 비하여 큰민어는 유영성 어류라는 점에서 스트레스 부하시 넙치는 운동성이 적은 반면, 큰민어는 운동성이 크므로 보다 강한 스트레스 반응을 보인 것으로 생각된다. 넙치와 큰민어의 수송 스트레스에서 넙치 보다는 큰민어가 스트레스 반응이 높게 나타난다고 한 Chang et al. (2001b)의 연구결과를 이를 뒷받침해 준다. 또한 넙치의 경우, 수조이동과 어류이송에서 글루코스와 젖산의 변화가 없었는데, 이는 Park et al. (1999)이 연구한 수온급변 스트레스에서 글루코스의 변화가 없었다는 결과와 일치하며, 넙치는 스트레스 부하시 에너지 소비가 적다는 것을 시사한다. 일반적으로 어류가 스트레스를 받으면, 1차 반응에서 코티졸이 증가되고, 2차반응에서는 글루코스가 증가하는 것으로 알려지고 있으나 (Ishioka, 1980; Barton and Schreck, 1987; Robertson et al., 1987; Thomas and Robertson, 1991), Park et al. (1999)이 제시한 것처럼 저서성인 넙치는 다른 어종과 스트레스 반응이 다를 수 있었다. 본 연구에서 넙치의 글루코스, 젖산 및 삼투질 농도는 Park et al. (1999)이 보고한 스트레스 반응과 유사한 경향을 나타내었다. 그러므로 넙치는 스트레스에 대하여 종 특이적이며, 한번의 스트레스에는 내성이 강하여 항상성 유지에 문제가 없었던 것으로 보인다.

Ht, RBC 및 Hb 등의 혈액 인자는 생체의 산소 운반 능력을 나타낸다. 해산어류에 있어 수온 스트레스는 일반적으로 Ht, RBC 및 Hb 등을 증가시킨다 (Davis and Parker, 1990). 본 연구에서 이들 요인의 수준은 수심감소 실험에서 증가하였다가 실험종료시 회복되는 경향을 나타내었다. 그러나 어류이송 실험에서 넙치대와 큰민어는 실험종료시에도 회복되지 않은 경향을 보였다. Nikinmaa (1986)는 Ht의 증가는 적혈구 세포의 팽창, 낮은 산소함량 때문이라고 하였다. 또한 Ryan (1995)은 만성 스트레스시 Ht의 증가와 MCHC의 감소를 보고하였는데, 본 연구는 만성 스트레스와는 다르지만 이와 유사하게 두 어종에서 Ht의 증가와 MCHC의 감소를 나타내었다. 본 연구에서 넙치대와 큰민어의 수심감소와 어류이송에 따른 스트레스 반응은 코티졸과 글루코스 및 젖산 농도변화에서 큰민어가 넙치대에 비해 높은 수준을 나타내었고, 넙치는 이미 보고된 것처럼 한번의 스트레스에는 반응이 낮은 것으로 나타났다. 그러나 한번의 스트레스에 대하여 넙치가 둔감한 반응을 보였다 하더라도, 스트레스를 받은 이후 만성적으로 나타날 수 있는 질병에 대한 면역능력 감퇴 및 성장 지연 여부는 장기 사육을 통하여 판단하는 것이 바람직할 것이다.

요 약

양식현장에서 선별작업시 처리되는 사육수조의 수심감소와 어

류이송에 따른 넙치 (대, 소)와 큰민어의 스트레스 반응을 알아보기 위하여 스트레스 지표로 알려져 있는 혈액학적 요인, 코티졸, 글루코스, 젖산 및 삼투질 농도를 조사하였다. 수심감소에서 넙치대의 Ht는 실험전 14.6%였던 것이 10시간째까지 계속 높아져 23.5%를 보였으나, 실험종료시 (46시간째) 14.4%로 회복되었다. 넙치대의 코티졸 농도는 실험개시시에 1.9 ng/mL였던 것이 22시간째에 13.7 ng/mL로 높아졌고, 46시간째에는 4.0 ng/mL로서 개시시의 수준으로 회복되었다. 큰민어는 4시간째 282.3 ng/mL, 22시간째 350.5 ng/mL로 높아졌으나, 실험종료시에는 16.0 ng/mL로 낮아졌다. 큰민어의 글루코스는 실험개시시 57.0 mg/dL로부터 22시간째에는 138.0 mg/dL로 유의하게 높아졌다. 젖산은 모든 어종에서 유의차가 인정되지 않았다. 어류이송에 따른 넙치대의 RBC는 실험개시시의 1.9×10^6 cell/ μ L로부터 실험종료시의 4.2×10^6 cell/ μ L로 높아졌다. 큰민어의 Hb는 실험개시시의 9.8 g/dL로부터 실험종료시에 20.4 g/dL로 개시시 보다 유의하게 높았다. 넙치대의 코티졸 농도는 실험개시시의 1.2 ng/mL로부터 이동 1시간째에 95.3 ng/mL로 높아졌고, 큰민어도 실험개시시의 5.5 ng/mL로부터 1시간째에 175.5 ng/mL로 높아졌다. 큰민어의 글루코스는 1, 3시간째 각각 132.5 mg/dL, 129.5 mg/dL로 실험개시시 46.5 mg/dL 보다 높은 수준을 보였다.

감사의 글

이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구 (1998-023-H 00011)에 의하여 연구되었으며, 연구비를 지원하여 주신 데 대하여 깊이 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Barton, B.A. and C.B. Schreck. 1987. Influence of acclimation temperature on interrenal and carbohydrate stress responses in juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture*, 62, 299~310.
- 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.
- Barton, B.A., R.E. Peter and C.R. Paulence. 1980. Plasma cortisol levels of fingerling rainbow trout (*Salmo gairdneri*) at rest, and subjected to handling, confinement, transport and stocking. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37, 805~811.
- 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., J.W. Hur, H.K. Lim and J.K. Lee. 2001a. Stress in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) and fat cod (*Hexagrammos otakii*) by the sudden drop and rise of water temperature. *J. Korean Fish. Soc.*, 34, 91~97 (in Korean).
- Chang, Y.J., J.W. Hur, S.H. Moon and J.U. Lee. 2001b. Stress response of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) and japanese croaker (*Nibea japonica*) to live fish transportation. *J. Aquacult.*, 14, 57~64 (in Korean).
- 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).
- Clarke, W.C., J.R. Shelbourn and J.R. Brett. 1981. Effects of artificial photoperiod cycles, temperature and salinity on growth and smolting in underyearling coho (*Oncorhynchus kisutch*), chinook (*O. tshawytscha*), and sockeye (*O. nerka*) salmon. *Aquaculture*, 22, 105~116.
- Davis, K.B. and N.C. Parker. 1990. Physiological stress in striped bass: effect of acclimation temperature. *Aquaculture*, 91, 349~358.
- Donaldson, E.M. 1981. The pituitary-interrenal axis as an indicator of stress in fish. In *Stress in Fish*, A.D. Pickering, ed. Academic Press, London, p. 11.
- Einarsdottir, I.E. and K.J. Nilssen. 1996. Stress responses of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) elicited by water level reduction in rearing tanks. *Fish Physiol. Biochem.*, 15, 395~400.
- Hur, J.W. and Y.J. Chang. 1999. Physiological responses of grey mullet (*Mugil cephalus*) and nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by gradual change in salinity of rearing water. *J. Aquacult.*, 12, 283~292 (in Korean).
- Ishioka, H. 1980. Stress reactions in the marine fish - I. Stress reactions induced by temperature change. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 46, 523~532 (in Japanese).
- Nikinmaa, M.A. 1986. Control of red cell pH in teleost fishes. *Ann Zool. Fenn.*, 23, 223~235.
- Pankhurst, N.W. and M. Dedual. 1994. Effects of capture and recovery on plasma levels of cortisol, lactate and gonadal steroids in a natural population of rainbow trout. *J. Fish Biol.*, 45, 1013~1025.
- 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).
- Pickering, A.D. 1992. Rainbow trout husbandry: management of the stress response. *Aquaculture*, 100, 125~139.
- 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.
- Robertson, L., P. Thomas, C.R. Arnold and J.M. Trant. 1987. Plasma cortisol and secondary stress responses of red drum to handling, transport, rearing density, and disease outbreak. *Prog. Fish-Cult.*, 49, 1~12.
- Ryan, S.N. 1995. The effect of chronic heat stress on cortisol levels in the Antarctic fish *Pagothenia borchgrevinka*. *Experientia*, 51, 768~774.
- Strange, R.J., C.B. Schreck and J.T. Golden. 1977. Corticoid stress responses to handling and temperature in salmonids. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 106, 213~217.
- Thomas, P. and L. Robertson. 1991. Plasma cortisol and glucose stress responses of red drum (*Sciaenops ocellatus*) to handling and shallow water stressors and anesthesia with MS-222, quinaldine sulfate and metomidate. *Aquaculture*, 96, 69~86.
- Vijayan, M.M. and T.W. Moon. 1994. The stress response and plasma

- disappearance of corticosteroid and glucose in a marine teleost, the sea raven. *Can. J. Zool.*, 72, 379~386.
- Waring, C.P., R.M. Stagg and M.G. Poxton. 1992. The effects of handling on flounder (*Platichthys flesus* L.) and Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *J. Fish Biol.*, 41, 131~144.
- Waring, C.P., R.M. Stagg and M.G. Powton. 1996. Physiological response to handling in the turbot. *J. Fish Biol.*, 48, 161~173.
- 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.

2001년 3월 6일 접수

2001년 9월 6일 수리