

가두기와 활어수송 스트레스가 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 생리조건에 미치는 영향

허준욱 · 최철영¹ · 장영진* · William H. Neill²
부경대학교, ¹미국 국립보건원, ²Texas A&M University

Effects of Confinement and Transport Stress on Physiological Condition in Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*

Jun Wook Hur, Cheol Young Choi¹, Young Jin Chang* and William H. Neill²

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

¹Lab. of Gene Regulation and Development, National Institutes of Health (NIH), Bethesda, MD 20892 USA

²Department of Wildlife and Fisheries Sciences, Texas A&M University, TX 77843-2258, USA

Physiological responses (cortisol, glucose, lactic acid, osmolality and hematology) of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) to stressors associated with confinement and subsequent transport were investigated. Specimens were subjected to confinement stress for 3 h, prior to transport for 15 h. Two different size cohorts of the fish, large (839.6±162.7 g) and small (98.2±14.8 g), were used. Experimental cohorts of the fish were divided into 3 groups for blood sampling: group A, sampled at the beginning of confinement and 3 h before transport (BT, -3 h), after confinement and at the beginning of transport (BT, 0 h), 3 h after transport had begun (AT, 3 h), and after 15 h transport (AT, 15 h); group B, sampled at BT, 0 h, at AT, 3 h, and at AT, 15 h; and, group C, sampled at AT, 3 h, and at AT, 15 h. In the cohort of large fish, plasma cortisol levels of the A group were increased over time, from 4.2 ng/ml (BT, -3 h), to 92.0 ng/ml (BT, 0 h), 118.5 ng/ml (AT, 3 h) and 105.5 ng/ml (AT, 15 h). A similar pattern was evident in the B group, in which cortisol increased from 47.5 ng/ml (BT, 0 h) to 53.5 ng/ml (AT, 15 h); and, for the C group, in which cortisol increased from 43.5 ng/ml (AT, 3 h) to 71.5 ng/ml (AT, 15 h). Glucose levels of the A group also were significantly increased, from 39.5 mg/dl (BT, -3 h), to 121.0 mg/dl (BT, 0 h), 298.0 mg/dl (AT, 3 h) and 260.5 mg/dl (AT, 15 h). Lactic acid levels increased markedly during transport, from less than 1 mmol/L (BT, 0 h) to 12.0 mmol/L (AT, 15 h). Plasma osmolality increased from 405.5 mOsm/kg (BT, -3 h, for group A) to values near 500 mOsm/kg subsequent to confinement and transport. In the small-size cohort, plasma cortisol, glucose, lactic acid and osmolality levels showed similar but less pronounced trends than those observed for the large-size cohort. This research provides baseline data on cortisol, glucose, lactic acid, osmolality and hematological responses to confinement and transport, which should be useful to aquaculturists working with olive flounder and to scientists studying other flatfish species.

Keywords: Olive flounder, *Paralichthys olivaceus*, Confinement stress, Cortisol, Live-fish transport

서 론

양식어류의 사육과정이나 판매를 위한 출하작업에서 성장 차이가 나는 어류를 골라내 같은 크기로 그룹짓는 고르기 작업(선별)은 양식장에서 피할 수 없는 관리사항의 하나이다. 이러한 선별작업은 사육수조의 물빼기, 크기 고르기, 포획, 가두기(confinement), 공기노출, 어류이동 및 활어수송 등 복합적인 요소로 구성되며, 이 모든 것이 어체에 스트레스로 작용한다(Hur et al., 2001). 이 중에서도 생산된 종묘의 양식현장으로의 운반,

수확한 어류의 소비지 운반 작업과정중에 어체는 혈액성분이 변화하거나(Carmichael et al., 1983; Nikinmaa et al., 1983), 수송 스트레스에 의한 폐사율이 높아질 수 있다(Carmichael, 1984). 한편, Barton and Iwama (1991)는 어류가 선별작업중 스트레스를 심하게 받을 경우, 질병에 대한 면역능력이 감소하고, 성장 지연 등의 영향을 받을 수 있다고 하였다.

한국에서 양식 넙치(*Paralichthys olivaceus*)는 그 생산량이 양식어류중 1위를 점하고 있으며, 그런만큼 종묘와 상품어의 수송도 대량으로 이루어지고 있다. 그러나 수송전후의 넙치에 대한 생리학적 변화 등 기반지식이 부족하여 때때로 대량폐사를 경험하게 된다. 지금까지 활어수송 스트레스에 관한 연구들은

*Corresponding author: yjchang@pknu.ac.kr

연어류에 치중되어 왔으며, 염분(Robertson et al., 1988), 밀도(Specker and Schreck, 1980), 수송시간 및 수송전후 스트레스 조건(Barton et al., 1980; Davis and Parker, 1986; Chang et al., 2001) 등 단독 또는 복합적인 스트레스에 대하여 보고되어 왔다. 한국의 제주도 및 남해안에서 생산된 양식넙치는 유통과정에서 활어수송차 또는 선박에 의해 내륙으로 장시간 수송되고 있으며, 거의 모든 활어수송 차량들은 어류의 생존율을 높이기 위하여 에어레이션, 액화산소 및 얼음 등을 사용하여 수송수조의 수온과 용존산소량을 조절하고 있다. 또한, Chang et al. (2001)은 넙치와 큰민어(*Nibea japonica*)의 25시간 수송실험에서 활동성이 낮은 넙치가 큰민어보다 수송 스트레스에 대한 영향이 적다고 하였으며, 수송전에 이루어지는 선별작업은 수송후에 더욱 높은 스트레스 반응으로 나타난다고 보고한 바 있다. 활어수송전 어체크기를 고르는 과정에서 어쩔 수 없이 일어나는 가두기 및 포획 등의 작업은 어체에 스트레스 요인으로 작용하게 된다. 그러나 생산자들은 이러한 선별 스트레스가 수송전, 수송중 및 수송후의 어류에게 어떠한 생리적 변화를 일으키는지에 대한 사전지식이 없는 가운데 활어수송을 하고 있는 실정이다.

지금까지 활어수송 스트레스에 관한 연구는 수송후에 나타나는 스트레스 반응과 생존율 등을 조사한 것이 대부분이며, 수송전 고르기 작업이 수송중의 어류에게 일으키는 스트레스 반응에 관하여는 연구자료는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 활어수송전의 가두기와 활어수송 작업에 대한 넙치의 스트레스 반응을 조사하고자, 수송전후의 채혈시각에 따라 3그룹으로 나누어 실험하였다.

재료 및 방법

실험어와 실험조건

실험어류로 제주도 표선인근에 위치한 육상수조식 양식장에서 사육중인 넙치 성어(체중 839.6 ± 162.7 g, 넙치대)와 유어(체중 98.2 ± 14.8 g, 넙치소)를 이용하였다. 수송실험전의 넙치는 콘크리트 원형수조(50 m^3 , 수용적 35 m^3)에서 사육되었으며, 모이스트렐렛(냉동 전갱이 또는 가나리와 배합사료를 1:1로 혼합)을 사료로 공급하였다. 수송실험은 24시간 절식시킨 어류를 포획하여 사각 콘테이너($57 \times 44 \times 29$ cm, 구멍이 뚫린 것)에 넣고 수중에서 3시간 가두기 스트레스를 준 다음 15시간 실시하였다. 수송용기는 스티로폼 상자($66 \times 42 \times 20$ cm)로서, 여기에 해수 15 L와 액화산소를 함께 넣은 비닐봉지에 넙치대 5마리, 넙치소 10마리씩 수송하였다. 이후 비닐봉지에서 액화산소가 새어나오지 않도록 끝부분을 고무줄로 감았으며, 스티로폼 상자의 뚜껑을 닫고 비닐테입으로 상자를 밀봉하였다. 수송은 차량수송과 선박수송을 병행하였는데, 양식장에서 제주항까지 육로로 차량수송(약 50 km)한 다음, 부산항까지 해로로 선박수송(약 350 km)하였으며, 이후 부산항에서 실험실까지 다시 차량수송(약 10 km)하였다. 선박수송중(3시간째) 혈액을 채취하기 위하여 수

송용 스티로폼 상자의 비닐테입을 풀고 어체로부터 채혈하였다. 채혈후 산소공급을 위해 에어레이션을 충분히 해 주면서 나머지 12시간 수송하였다. 수송전후 및 수송중 수송용기내의 수온과 용존산소량은 $16 \sim 17^\circ\text{C}$, $7.0 \sim 8.0$ mg/L였다.

채혈 및 혈액분석

채혈시각은 수송 3시간전 포획직후(수송 3시간전), 3시간 가두기후 수송직전(3시간 가두기후), 3시간 수송(수송중) 및 15시간 수송직후(수송직후)에 채혈한 그룹(A), 3시간 가두기후, 수송중 및 수송직후에 채혈한 그룹(B), 수송중과 수송직후에 채혈한 그룹(C)으로 나누었다.

실험어로부터의 채혈은 채혈시각에 맞추어 각 실험구에서 5마리씩 연속적으로 20 IU/ml heparin sodium 처리한 3 ml 주사기로 마취없이 1분 이내에 미병부의 혈관에서 채혈하였다. 개체별로 채취한 혈액은 microtube (1.5 ml)에 분주하였다. 이중 혈액성상 분석용 시료는 즉시 혈액분석기(Excell 500, USA)로 분석하였으며, 혈장분석용 시료는 실온에서 20분간 방치한 다음, $5,600 \text{ g}$ 로 5분동안 원심분리(Micro Haematocrit Centrifuge, Hawksley and Sons Ltd., UK)에 의해 혈장을 추출하여 -70°C 의 냉동고에 보관하였다.

Cortisol 농도는 Coat-A-Count TKCO Cortisol RIA Kit (DPC, USA)로 항원·항체반응을 유도한 다음, 1470 WIZARD Automatic Gamma Counter (EG and G Wallac, Finland)를 사용하여 radioimmunoassay (RIA)에 의해 측정하였다. Glucose, lactic acid, 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., USA)에 의해 분석하였다. 혈장의 삼투질 농도는 Micro Osmometer (3MO Plus, Advanced Instruments Inc., USA)로 측정하였다.

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

결 과

혈장의 cortisol, glucose 및 lactic acid 농도

넙치대의 cortisol 농도는 수송 3시간전 $4.2 \pm 1.3 \text{ ng/ml}$ 로부터 A그룹은 3시간 가두기후 $92.0 \pm 5.7 \text{ ng/ml}$, 수송중 $118.5 \pm 10.6 \text{ ng/ml}$, 수송직후 $105.5 \pm 6.4 \text{ ng/ml}$ 로 차이를 나타냈다(Fig. 1). B그룹은 3시간 가두기후 $47.5 \pm 7.8 \text{ ng/ml}$, 수송직후 $53.5 \pm 6.4 \text{ ng/ml}$ 로 높아졌다. 한편, C그룹은 수송중 $43.5 \pm 6.4 \text{ ng/ml}$ 로부터 수송직후 $71.5 \pm 4.9 \text{ ng/ml}$ 로 더욱 높아졌다. 넙치소는 넙치대보다 cortisol 농도에서 낮은 범위를 보였다.

넙치대의 glucose 농도는 수송 3시간전 $39.5 \pm 0.7 \text{ mg/dl}$ 로부터 A그룹은 3시간 가두기후 $121.0 \pm 1.4 \text{ mg/dl}$, 수송중 $298.0 \pm$

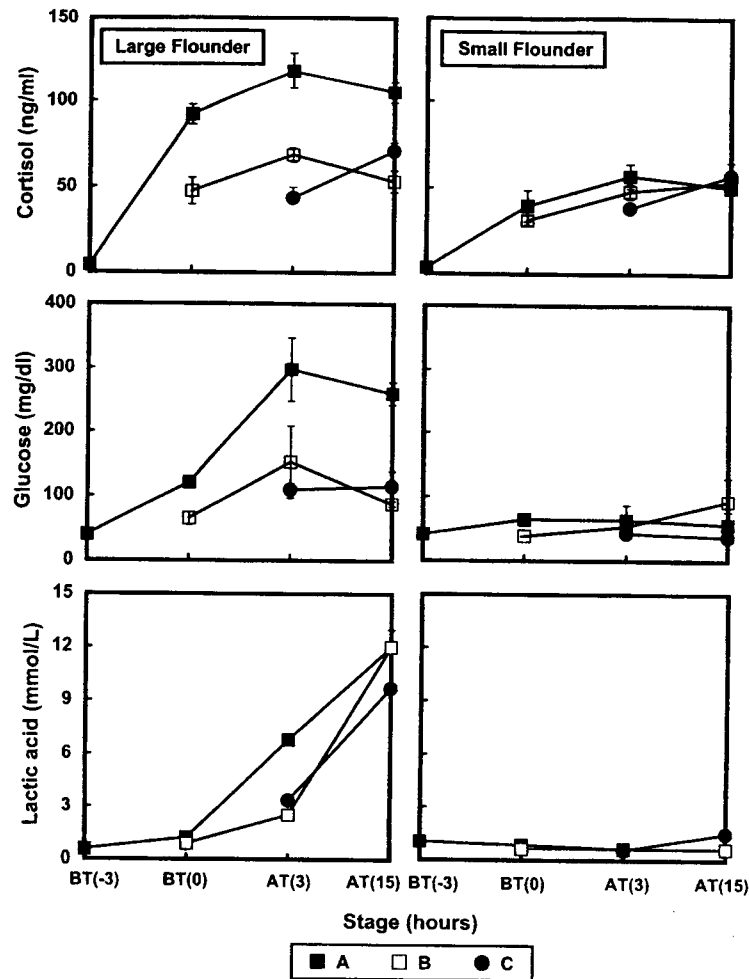


Fig. 1. Cortisol, glucose and lactic acid levels in plasma of large and small olive flounder during confinement and subsequent transport. Group A: blood sampled at the beginning of confinement and 3 h before transport, or BT (-3); at the end of confinement and beginning of transport, or BT (0); 3 h after the beginning of transport, or AT (3); and, after 15 h transport, or AT (15). Group B: blood sampled at BT (0), AT (3), and AT (15). Group C: blood sampled at AT (3) and AT (15).

49.5 mg/dl, 수송직후 260.5±17.7 mg/dl로 높아졌다(Fig. 1). 또한 B그룹은 3시간 가두기후 65.0±9.9 mg/dl, 수송중 152.5±55.9 mg/dl, 수송직후 88.0±4.2 mg/dl로 높은 값으로 남아있었다. C그룹은 수송중 109.5±10.6 mg/dl, 수송직후 115.5±23.3 mg/dl로 수송 3시간전과 차이를 보였다. 그러나 낚치소는 낚치대와 같은 경향은 없었다. Lactic acid 농도는 낚치대가 수송 3시간전 0.6±0.1 mmol/L로부터 수송직후에 A, B 및 C의 모든

그룹에서 0.9±0.4~12.0±0.0 mmol/L로 높아진 반면, 낚치소는 수송 3시간전 1.0±0.1 mmol/L로부터 수송직후까지 0.6±0.1~1.5±0.1 mmol/L로 나타났다.

혈장의 삼투질 농도, AST 및 ALT

낚치대의 삼투질 농도는 수송 3시간전의 405.5±9.2 mOsm/kg으로부터 A그룹은 496.0±22.6~526.0±15.6 mOsm/kg, B그

Table 1. Plasma osmolality (mOsm/kg) of large and small olive flounder during confinement and subsequent transport

Stage (hours)	Large Flounder			Small Flounder		
	A	B	C	A	B	C
BT (-3)	405.5±9.2 ^a	-	-	405.5±7.8 ^a	-	-
BT(0)	509.0±11.3 ^b	479.0±73.5 ^b	-	509.0±11.3 ^c	476.0±1.4 ^{bc}	-
AT (3)	526.0±15.6 ^b	489.5±9.2 ^b	520.5±14.8 ^b	412.0±25.4 ^a	431.0±18.4 ^{ab}	438.5±23.3 ^{ab}
AT (15)	496.0±22.6 ^b	524.5±2.1 ^b	529.0±35.4 ^b	419.5±12.0 ^a	426.0±35.4 ^a	445.5±6.4 ^{ab}

The values are mean±SD (n=10). Means within each column followed by the same alphabetic letter are not significantly different (P>0.05). A, B, C, BT (-3), BT (0), AT (3) and AT (15) have the same meaning here as in Fig. 1.

Table 2. Concentration of aspartate aminotransferase (AST, IU/L) in plasma of large and small olive flounder during confinement and subsequent transport

Stage (hours)	Large Flounder			Small Flounder		
	A	B	C	A	B	C
BT (-3)	28.0±1.2 ^a	-	-	32.6±1.0 ^a	-	-
BT (0)	29.8±0.4 ^b	28.9±0.4 ^{ab}	-	35.0±0.3 ^b	34.7±0.4 ^b	-
AT (3)	29.4±0.7 ^{ab}	29.8±0.5 ^b	29.2±0.6 ^{ab}	34.0±0.1 ^{ab}	34.9±0.4 ^b	33.8±0.4 ^{ab}
AT (15)	29.2±0.6 ^{ab}	29.5±0.8 ^{ab}	30.1±0.6 ^b	34.2±0.6 ^{ab}	34.0±1.2 ^{ab}	34.6±0.5 ^b

The values are mean±SD (n=10). Means within each column followed by the same alphabetic letter are not significantly different (P>0.05). A, B, C, BT (-3), BT (0), AT (3) and AT (15) have the same meaning here as in Fig. 1.

Table 3. Concentration of alanine aminotransferase (ALT, IU/L) in plasma of large and small olive flounder during confinement and subsequent transport

Stage (hours)	Large Flounder			Small Flounder		
	A	B	C	A	B	C
BT (-3)	29.2±1.0 ^a	-	-	31.8±0.8 ^a	-	-
BT (0)	32.0±0.7 ^b	31.8±0.8 ^b	-	36.7±1.1 ^c	33.6±0.6 ^{ab}	-
AT (3)	33.9±0.5 ^{cd}	33.6±0.5 ^c	33.9±0.5 ^{cd}	37.0±1.1 ^c	36.7±0.1 ^c	35.5±1.3 ^{bc}
AT (15)	35.6±0.7 ^e	35.2±0.4 ^{de}	36.2±0.4 ^e	36.5±0.8 ^c	35.3±1.0 ^b	37.2±0.9 ^c

The values are mean±SD (n=10). Means within each column followed by the same alphabetic letter are not significantly different (P>0.05). A, B, C, BT (-3), BT (0), AT (3) and AT (15) have the same meaning here as in Fig. 1.

Table 4. Hematocrit (%) in blood of large and small olive flounder during confinement and subsequent transport

Stage (hours)	Large Flounder			Small Flounder		
	A	B	C	A	B	C
BT (-3)	15.8±2.8 ^a	-	-	32.7±2.3 ^{de}	-	-
BT (0)	15.2±7.0 ^a	30.8±2.6 ^c	-	49.6±23.8 ^f	39.9±4.7 ^f	-
AT (3)	26.6±3.3 ^{bc}	24.6±0.4 ^{abc}	21.6±0.4 ^{abc}	6.6±0.1 ^a	8.2±2.6 ^a	30.2±0.6 ^{cde}
AT (15)	18.7±2.7 ^{ab}	47.0±0.3 ^d	43.9±22.3 ^d	23.0±0.6 ^{bcd}	21.4±0.8 ^{bc}	16.8±1.2 ^{ab}

The values are mean±SD (n=10). Means within each column followed by the same alphabetic letter are not significantly different (P>0.05). A, B, C, BT (-3), BT (0), AT (3) and AT (15) have the same meaning here as in Fig. 1.

roup은 479.0±73.5~524.5±2.1 mOsm/kg, C그룹은 520.5±14.8~529.0±35.4 mOsm/kg으로 높아졌다(Table 1). 넙치소는 수송 3시간전의 405.5±7.8 mOsm/kg으로부터 A그룹에서 3시간 가두기후 509.0±11.3 mOsm/kg으로 높아졌으나, 수송중과 수송 직후에 각각 412.0±25.5 mOsm/kg, 419.5±12.0 mOsm/kg으로 낮아졌다.

AST는 넙치대에서 수송 3시간전의 28.0±1.2 IU/L로부터 A, B 및 C그룹에서 수송직후에 각각 29.2±0.6 IU/L, 29.5±0.8 IU/L, 30.1±0.6 IU/L로 다소 높아졌다(Table 2).

ALT는 넙치대에서 수송 3시간전의 29.2±1.0 IU/L로부터 수송직후 A, B 및 C그룹에서 35.2±0.4~36.2±0.4 IU/L로 높아졌으며, 넙치소에서도 수송 3시간전 31.8±0.8 IU/L로부터 수송직후 A, B 및 C그룹에서 35.3±1.0~37.2±0.9 IU/L로 높아진 값을 보였다(Table 3).

혈액의 일반성상

넙치대의 수송 3시간전 hematocrit는 15.8±2.8%였으며, 3시간 가두기후 A그룹에서 15.2±7.0%를 나타내 차이를 보이지

않은 반면, B그룹은 30.8±2.6%로 수송 3시간전보다 크게 높아졌다(Table 4). 이후 수송중에는 A그룹이 26.6±3.3%로 높아진 반면, B그룹은 24.6±0.4%로 낮아졌다. 수송직후에는 B 및 C그룹의 값은 각각 47.0±0.3%, 43.9±22.3%로 수송 3시간전보다 높아졌다. 넙치소의 hematocrit는 수송 3시간전에 32.7±2.3%였던 것이 A, B 및 C그룹에서 수송직후에 각각 23.0±0.6%, 21.4±0.8%, 16.8±1.2%로 낮아졌다.

적혈구수는 수송 3시간전 넙치대에서 2.4±0.4×10⁶ cell/μl를 나타냈으며, B그룹에서 3시간 가두기후에는 4.9±0.0×10⁶ cell/μl, 수송직후에는 4.2±0.0×10⁶ cell/μl로 높은 값을 보였다(Table 5). C그룹에서는 수송중에 3.1±0.5×10⁶ cell/μl를 나타내 수송 3시간전 보다 높은 값을 보였으며, 수송직후에는 4.8±3.2×10⁶ cell/μl로 수송 3시간전 보다 2배나 증가하였다. 한편 넙치소에서는 수송 3시간전의 4.0±0.3×10⁶ cell/μl로부터 3시간 가두기후에 A와 B그룹에서 각각 7.4±2.9×10⁶ cell/μl, 6.6±2.0×10⁶ cell/μl로 유의하게 높아졌다. 그러나 수송직후에는 각각 3.6±0.1×10⁶ cell/μl, 3.1±0.1×10⁶ cell/μl로 다시 낮아져 수송 3시간전과 차이를 보이지 않았다. C그룹에서는 수송중 5.6±0.3×10⁶ cell/μl로 수

Table 5. Concentration of red blood cell ($\times 10^6$ cell/ μ l) in blood of large and small olive flounder during confinement and subsequent transport

Stage (hours)	Large Flounder			Small Flounder		
	A	B	C	A	B	C
BT (-3)	2.4 \pm 0.4 ^a	-	-	4.0 \pm 0.3 ^c	-	-
BT (0)	2.5 \pm 1.2 ^a	4.9 \pm 0.0 ^c	-	7.4 \pm 2.9 ^e	6.6 \pm 2.0 ^{de}	-
AT (3)	3.7 \pm 0.6 ^{abc}	3.0 \pm 0.0 ^{ab}	3.1 \pm 0.5 ^{ab}	1.0 \pm 0.1 ^a	2.1 \pm 0.5 ^{ab}	5.6 \pm 0.3 ^d
AT (15)	2.6 \pm 0.2 ^{ab}	4.2 \pm 0.0 ^{bc}	4.8 \pm 3.2 ^c	3.6 \pm 0.1 ^c	3.1 \pm 0.1 ^{bc}	2.5 \pm 0.0 ^{abc}

The values are mean \pm SD (n=10). Means within each column followed by the same alphabetic letter are not significantly different (P>0.05). A, B, C, BT (-3), BT (0), AT (3) and AT (15) have the same meaning here as in Fig. 1.

Table 6. Concentration of hemoglobin (g/dl) in blood of large and small olive flounder during confinement and subsequent transport

Stage (hours)	Large Flounder			Small Flounder		
	A	B	C	A	B	C
BT (-3)	10.3 \pm 0.1 ^{cd}	-	-	10.3 \pm 0.3 ^f	-	-
BT (0)	9.6 \pm 0.5 ^{bc}	14.4 \pm 2.4 ^e	-	6.1 \pm 1.1 ^b	9.4 \pm 0.7 ^e	-
AT (3)	6.6 \pm 1.7 ^a	8.4 \pm 0.0 ^b	11.9 \pm 1.4 ^{ef}	14.5 \pm 1.0 ^e	8.7 \pm 0.1 ^{de}	8.9 \pm 0.2 ^{de}
AT (15)	10.8 \pm 0.2 ^{cd}	12.6 \pm 0.1 ^f	11.2 \pm 0.4 ^{de}	3.5 \pm 0.2 ^c	7.9 \pm 0.2 ^c	8.2 \pm 0.4 ^{cd}

The values are mean \pm SD (n=10). Means within each column followed by the same alphabetic letter are not significantly different (P>0.05). A, B, C, BT (-3), BT (0), AT (3) and AT (15) have the same meaning here as in Fig. 1.

송 3시간전보다 높아졌으나, 수송직후에는 $2.5 \pm 0.0 \times 10^6$ cell/ μ l로 다시 낮아졌다.

Hemoglobin의 농도는 수송 3시간전 넘치대와 넘치소에서 각각 10.3 \pm 0.1 g/dl, 10.3 \pm 0.3 g/dl였던 것이 3시간 가두기후에는 B그룹의 넘치대에서 14.4 \pm 2.4 g/dl로 높아진 반면, 넘치소에서는 9.4 \pm 0.7 g/dl로 감소하였다(Table 6). 수송직후 A그룹의 넘치대는 10.8 \pm 0.2 g/dl로 수송 3시간전과 차이가 없었으나, 넘치소는 3.5 \pm 0.2 g/dl로 유의하게 낮아졌다. 그러나 넘치대의 B그룹과 C그룹에서는 수송직후에도 각각 12.6 \pm 0.1 g/dl, 11.2 \pm 0.4 g/dl를 나타내 수송 3시간전보다 여전히 높은 값을 유지하였다.

고 찰

활어수송후의 어류에서는 혈장 cortisol, glucose, 전해질 및 삼투질 농도(Barton et al., 1980; Carmichael et al., 1983; Chang et al., 2001) 뿐만 아니라, hematocrit, 적혈구수, hemoglobin, 총단백질, 혈액의 pH 및 근육지방 등이 변화하는 것으로 알려지고 있다(Nikinmaa et al., 1983). 이러한 요인중 스트레스의 지표 호르몬인 혈장 cortisol에 대하여 Chang et al. (2001)은 수송을 위한 선별작업으로 인하여 수송전이라도 선별 스트레스를 받은 어류가 스트레스 받지않은 어류에 비해 높은 농도를 보였지만, 수송직후에는 선별 스트레스에 상관없이 두쪽 다 농도가 상승한다고 하였다. 그들은 또 cortisol 농도상승 속도는 스트레스를 받은 어류보다 받지 않았던 어류에서 더 빠름을 알 수 있었다고 하였다. 이는 1회의 스트레스(선별)를 경험한 어류가 다시 한번의 스트레스(수송)를 받더라도 약간의 cortisol 증가만 나타내, 반복되는 스트레스에 대한 민감도가 떨어지는 것을 의미한다. 수송전에 스트레스를 가하지 않아도 수송작업에 의해

어체는 상당한 스트레스를 받을 것이다. 또한 Chang et al. (2001)에 의하면 넘치가 스트레스 지표로 알려져 있는 cortisol, glucose 및 lactic acid 등에서 활동성 어류인 큰민어(*Nibea japonica*)보다 반응이 낮게 나타난 것으로 보고하였다. 또한 Waring et al. (1992)이 저서성 어류인 가자미류(*Platichthys flesus*)와 활동성 어류인 대서양연어(*Salmo salar*)의 스트레스 연구에서 glucose와 lactic acid의 농도는 *Platichthys flesus*보다 대서양연어에서 높게 나타난다고 하였다. 이러한 현상은 스트레스에 대한 어류의 행동과 스트레스 감응도의 관계에서 그 이유를 찾아볼 수 있는데, 스트레스를 가했을 때 연어류에서는 운동성이 더욱 많아지는 반면, 가자미류는 오히려 운동성이 적어지는 경향을 띄는 데에 있다. 이러한 생태적 습성에 의해 활동성이 높은 어류에서 스트레스시 혈중 lactic acid 농도가 높아지는 것으로 알려지고 있다(Chang et al., 2001).

본 연구에서 cortisol 농도는 수송전 가두기 스트레스로 인하여 약 50배 높은 값을 보였으며, 더욱이 반복채혈과 가두기의 2중 스트레스를 받았을 때는 약 100배 상승하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 수송중과 수송직후까지도 유지되었다. 또한 본 연구에서 넘치소보다는 넘치대에서 반복채혈 및 수송 스트레스에 대하여 반응이 더욱 높게 나타났다. 넘치대의 경우, glucose와 lactic acid 농도에서 수송중인 3시간째부터 급격하게 상승하는 것은 혈액 샘플에 따른 스트레스 요인(채혈작업 소음, 수질) 등이 작용한 것으로 추측된다. 수질의 경우, 채혈 스트레스로 어체에서 분비되는 점액이 영향을 주는 것으로 보인다. 이상과 같이 수송직후 lactic acid 농도상승과 glucose 농도감소는 넘치가 12시간동안 많은 스트레스를 받았음을 추측케 한다.

Barton et al. (1980)과 Carmichael et al. (1983)은 수송 스트레스에 의하여 무지개송어(*Salmo gairdneri*)와 smallmouth bass

의 혈장 삼투질 농도가 변화한다고 하였는데, 본 연구에서도 수송전보다 수송직후에 높아지는 값을 보였으며, 수송후에도 수송전 값으로 회복되지 않았다. Chang et al. (2001)의 보고에서 삼투질 농도는 수송전 스트레스를 주지 않은 그룹에서 수송직후에 수송전과 차이를 보이지 않았으나, 수송전 스트레스를 준 그룹에서는 수송직후에 차이를 나타냈다고 하였는데, 본 연구에서도 수송전 가두기 스트레스에 의해 높아지는 결과를 보여 주었다. 또한 Robertson et al. (1988)은 스트레스에 의해 광염성 어류인 홍민어(*Sciaenops cellatus*) 혈장 전해질의 혼란이 야기된다고 하였는데, 본 연구에서도 수송 스트레스에 의해 전해질 혼란이 일어나면서 삼투질 농도에도 영향을 미친 것으로 추측된다.

아민기 전이효소로 알려져 있는 AST (GOT)와 ALT (GPT)는 본 연구에서 AST보다는 ALT 효소가 더 영향을 받은 것으로 나타났다. Karan et al. (1998)은 구리(Cu)에 노출된 잉어(*Cyprinus carpio*)의 혈청과 아가미 조직에서 ALT 활성이 AST보다 높게 나타났다고 보고하였다. 본 연구에서도 수송 스트레스에 의한 활성변화가 AST에서 보다는 ALT에서 크게 나타나 Karan et al. (1998)과 유사한 결과를 보였다. 혈액성상(hematocrit, 적혈구수, hemoglobin)의 경우, 수송전보다 수송중과 수송직후에 높아지는 경향을 보였다. 그러나 넙치소의 경우, 수송후에는 수송전과 같이 안정되는 값을 보였으나, 넙치대에서는 수송직후까지도 회복되지 않는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 cortisol, glucose 및 삼투질 농도에서 나타난 것과 같았다. Nikinmaa (1986)는 hematocrit의 증가는 낮은 산소함량 때문이라고 보고하였다. 본 연구에서는 수송중 3시간째부터 산소공급을 위해 충분히 에어레이션을 실시하였는데, 수송시 어체의 산소소비량의 증가가 있었다면, 이는 수송중 어류의 체액분비 및 다른 수질요인 등에 의해 야기될 가능성은 충분히 있다.

본 연구결과, 수송전 가두기 스트레스는 넙치대의 경우, cortisol, glucose, 삼투질 농도, ALT, hematocrit, 적혈구수 및 hemoglobin에 영향을 미쳤으며, 또한 반복채혈에 따른 cortisol, glucose, 삼투질 농도 및 ALT에 스트레스 반응으로 나타났다. 넙치소의 경우, 수송전 가두기 스트레스로 cortisol, 삼투질 농도, AST, 적혈구수 및 hemoglobin에 영향을 미쳤으며, 반복채혈에 의한 cortisol, hematocrit, 적혈구수 및 hemoglobin에 스트레스 반응으로 나타났다. Cortisol, glucose 및 lactic acid 등 일련의 스트레스 반응수준은 넙치소보다 넙치대에서 높다는 것을 알 수 있었다. 따라서 넙치의 선별이나 활어수송시에 성어나 상품어의 스트레스를 줄여 폐사율이 낮도록 하는 방법이 우선적으로 연구되어야 할 것이다.

요 약

활어수송전의 가두기와 활어수송 스트레스에 대한 넙치의 생리학적 반응을 조사하고자, 수송전후의 채혈시각에 따라 3그룹

으로 나누어 실험하였다. 실험어류로 양식장에서 사육중인 넙치 성어(839.6±162.7 g, 넙치대)와 유어(98.2±14.8 g, 넙치소)를 이용하였다. 수송은 제주에서 부산까지 15시간 실시하였다. 넙치대의 cortisol 농도는 수송 3시간전 4.2 ng/ml로부터 A그룹은 3시간 가두기후 92.0 ng/ml, 수송중 118.5 ng/ml, 수송직후 105.5 ng/ml로 차이를 나타냈다. B그룹은 3시간 가두기후 47.5 ng/ml, 수송직후 53.5 ng/ml로 높아졌다. C그룹은 수송중 43.5 ng/ml로부터 수송직후 71.5 ng/ml로 더욱 높아졌다. 넙치대의 glucose 농도는 수송 3시간전 39.5 mg/dl로부터 A그룹은 3시간 가두기후 121.0 mg/dl, 수송중 298.0 mg/dl, 수송직후 260.5 mg/dl로 높아졌다. Lactic acid 농도는 넙치대에서 수송 3시간전 0.6 mmol/L로부터 수송직후에 A, B 및 C의 모든 그룹에서 0.9~12.0 mmol/L로 높아진 반면, 넙치소에서는 수송 3시간전 1.0 mmol/L로부터 수송직후까지 0.6~1.5 mmol/L로 낮았다. 넙치대의 삼투질 농도는 수송 3시간전 405.5 mOsm/kg으로부터 A그룹은 496.0~526.0 mOsm/kg, B그룹은 479.0~524.5 mOsm/kg, C그룹은 520.5~529.0 mOsm/kg으로 높아졌다. 결론적으로, 가두기 및 수송작업은 넙치의 혈장 cortisol, glucose, 삼투질 농도, ALT, hematocrit, 적혈구수 및 hemoglobin에 영향을 미쳤으며, 넙치소의 스트레스 반응은 넙치대 보다 적게 나타났다. 이상의 결과는 가두기와 활어수송시 혈액내 cortisol, glucose, lactic acid, 삼투질 농도 및 혈액의 일반성상에 대한 기준치를 제시함으로써, 넙치의 생산성 향상과 가자미류의 생리연구에 활용될 것이다.

사 사

이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비(1998-023-H00011)에 의하여 연구되었으며, 연구비를 지원하여 주신 데 대하여 깊이 감사드립니다.

참고문헌

- 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.
- Carmichael, G. J., 1984. Long distance truck transport of intensively reared largemouth bass. *Prog. Fish-Cult.*, **46**: 111-115.
- Carmichael, G. J., G. A. Wedemeyer, J. P. McCraren and J. L. Millard, 1983. Physiological effects of handling and hauling stress on smallmouth bass. *Prog. Fish-Cult.*, **45**: 110-113.
- 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. Aquaculture*, **14**: 57-64 (in Korean).
- Davis, K. B. and N. C. Parker, 1986. Plasma corticosteroid stress

- response of fourteen species of warmwater fish to transportation. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **115**: 495-499.
- Hur J. 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. *J. Korean Fish. Soc.*, **34**: 465-472 (in Korean).
- Karan, V., S. Vitorovic, V. Tutundzic and V. Poleksic, 1998. Functional enzymes activity and gill histology of carp after copper sulfate exposure and recovery, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, **40**: 49-55.
- Nikinmaa, M. A., 1986. Control of red cell pH in teleost fishes. *Ann Zool. Fenn.*, **23**: 223-235.
- Nikinmaa, M. A., N. T. Soivio and S. Lindgren, 1983. Hauling stress in brown trout (*Salmo trutta*): physiological responses to transport in fresh water or salt water, and recovery in natural brackish water. *Aquaculture*, **34**: 93-99.
- Robertson, L., P. Thomas and C. R. Arnold, 1988. Plasma cortisol and secondary stress responses of cultured red drum (*Sciaenops cellatus*) to several transportation procedure. *Aquaculture*, **68**: 115-130.
- 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.
- 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.
-
- 원고접수 : 2003년 3월 26일
수정본 수리 : 2003년 6월 10일
책임편집위원 : 명정인
- 한국양식학회지 (2003), 16(3):135-141

